Birger Ljung / Jan Selmer

Samordnad planering i decentraliserade företag

En studie av Dantzig & Wolfe's dekompositionsalgoritm

Företagsekonomiska institutionen vid
STOCKHOLMS UNIVERSITET

1975

Bonniers

SAMORDNAD PLANERING I DECENTRALISERADE FÖRETAG

En studie av Dantzig & Wolfe's dekompositionsalgoritm

Akademisk avhandling

som med tillstånd av samhällsvetenskapliga fakulteten vid Stockholms Universitet för vinnande av ekonomie doktorsexamen framlägges till offentlig granskning onsdagen den 19 mars 1975, hörsal 4, hus B, Fiskartorpsvägen 160, kl 10 och 14

av

Birger Ljung/Jan Selmer

Birger Ljung/Jan Selmer

Samordnad planering i decentraliserade företag

En studie av Dantzig & Wolfe's dekompositionsalgoritm

Företagsekonomiska Institutionen
STOCKHOLMS UNIVERSITET

Monografi nr 9

Samordnad planering i decentraliserade företag

En studie av Dantzig & Wolfe's dekompositionsalgoritm

av
Birger Ljung/Jan Selmer

BONNIERS

Monografi nr 1 Bergendahl, G., Models for Investments in a Road Network, Stockholm 1969

Monografi nr 2 Schyberger, B. W:son, Media Selection - Efficient Procedures of Press Media Allocation, Stockholm 1970

Monografi nr 3 Linde, A. (m.fl.), Strategisk planering. Vad kan, vill och bör företag och andra organisationer göra nu och i framtiden? Stockholm 1971

Monografi nr 4 Lönnstedt, L., Opertaionsanalys i börsnoterade företag. Ett innovations- och anpassningsproblem för indiviiden och organisationen. Stockholm 1971

Monografi nr 5 Åhrell, L., Nedskräpning som ett ekonomiskt problem, Stockholm 1972

Monografi nr 6 Sellstedt, B., Selection of Product Development Projects under Uncertainty, Stockholm 1972

Monografi nr 7 Wikström, S., Våra dagligvarors distribution. En framtidsstudie. Stockholm 1973

Monografi nr 8 Lindberg, J., Externa effekter av dryckesförpackningar. En studie av några åtgärder. Stockholm 1973

UNIV. LEIDEN BIBL.

ISBN 91-0-040237-0

© Birger Ljung, Jan Selmer 1975

Printed in Sweden

INNEHÅLL

		Sid
Innehåll		1
Förord		5
Del I	Introduktion	
Kap 1	Problemområde	8
	1.1 Kapitelöversikt	8
	1.2 Bakgrund	8
	1.3 Syfte och avgränsningar	11
	1.4 Sammanfattning	16
Kap 2	Dantzig & Wolfe´s dekompositionsalgoritm	17
	2.1 Kapitelöversikt	17
	2.2 Beskrivning av DW-algoritmen	17
	2.3 DW-planeringen: en organisatorisk tolkningsidé	28
	2.4 Sammanfattning	29
Kap 3	Metodik	31
	3.1 Kapitelöversikt	31
	3.2 Riktlinjer	31
	3.3 Vald ansats	32
	3.4 Sammanfattning	35
Del II	Teoretisk tillämpningsanalys	
Kap 4	Introduktion	36
	4.1 Kapitelöversikt	36
	4.2 Syfte och tillvägagångssätt	36
	4.3 Sammanfattning	38
Kap 5	DW-planering	39
	5.1 Kapitelöversikt	39
	5.2 Problemformuleringens tolkning	39
	5.3 DW-algoritmens tolkning	50
	5.4 Sammanfattning	57
Kap 6	Planeringsproblemets formulering	58
	6.1 Kapitelöversikt	58
	6.2 Allmänt	58
	6.3 Linjäriteten	62
	6.4 Blockangulärіteten	72
	6.5 Sammanfattning	79
Kap 7	Planeringsprocessens konvergensegenskaper	80
	7.1 Kapitelöversikt	80
	7.2 Allmänt	81

		Sid
	7.3 Problemformuleringen	82
	7.4 Startfas	87
	7.5 Iterationsfas	92
	7.6 Sammanfattning	93
Kap 8	Planeringsprocessens trunkering	95
	8.1 Kapitelöversikt	95
	8.2 Trunkeringsproblemet	95
	8.3 Tumregler vid trunkering	97
	8.4 Sammanfattning	101
Kap 9	Planbeslut	102
	9.1 Kapitelöversikt	102
	9.2 Allmänt	102
	9.3 Alternativa beslutsformer	103
	9.4 Temporala beslutsaspekter	115
	9.5 Sammanfattning	117
Kap 10	Incitament	119
	10.1 Kapitelöversikt	119
	10.2 Allmänt	119
	10.3 Resultatmåtten	124
	10.4 Sammanfattning	131
Kap II	Avslutning: erfarenheter av den teoretiska tillämpningsanalysen	133
	11.1 Kapitelöversikt	133
	11.2 DW-planeringens innebörd	133
	11.3 Planeringsproblemets formulering	134
	11.4 Planeringsprocessen	134
	11.5 Slutord	136
	11.6 Sammanfattning	138
Del III	Fallstudier	
Kap 12	Introduktion	139
	12.1 Kapitelöversikt	139
	12.2 Allmänt om fallstudier	139
	12.3 Syfte och tillvägagångssätt	141
	12.4 Sammanfattning	145
Kap 13	AB Iggesunds Bruk	146
	13.1 Kapitelöversikt	146
	13.2 Allmänt	146
	13.3 Planeringsproblemet	147
	13.4 DW-planering: problemformulering	151

		Sid
	13.5 DW-planering: planeringsprocess	162
	13.6 DW-planering - nuvarande planerings-förfarande	172
	13.7 Sammanfattning	174
Kap 14	KemaNord AB	176
	14.1 Kapitelöversikt	176
	14.2 Allmänt	176
	14.3 Planeringsproblemet	177
	14.4 DW-planering: problemformulering	181
	14.5 DW-planering: planeringsprocess	187
	14.6 DW-planering - nuvarande planerings-förfarande	193
	14.7 Sammanfattning	194
Kap 15	Unifos Kemi AB	197
	15.1 Kapitelöversikt	197
	15.2 Allmänt	197
	15.3 Planeringsproblemet	198
	15.4 DW-planering: problemformulering	202
	15.5 DW-planering: planeringsprocess	211
	15.6 DW-planering - nuvarande planerings-förfarande	214
	15.7 Sammanfattning	215
Kap 16	Avslutning: erfarenheter av fallstudierna	217
	16.1 Kapitelöversikt	217
	16.2 Problemformuleringen	217
	16.3 Planeringsprocessen	221
	16.4 Slutord	223
	16.5 Sammanfattning	224
Del IV	Simuleringsexperiment	
Kap 17	Introduktion	225
	17.1 Kapitelöversikt	225
	17.2 Syfte och tillvägagångssätt	225
	17.3 Sammanfattning	227
Kap 18	Indata och datorbearbetning	228
	18.1 Kapitelöversikt	228
	18.2 Indata	228
	18.3 Datorbearbetning	235
	18.4 Tidigare simuleringsexperiment	237
	18.5 Sammanfattning	238

	Sid
Kap 19 Simulering av planeringsprocessen	239
19.1 Kapitelöversikt	239
19.2 Startfas	239
19.3 Iterationsfas	244
19.4 Beslutsfas	251
19.5 En modifiering	255
19.6 Sammanfattning	256
Kap 20 Simulering av fusk	258
20.1 Kapitelöversikt	258
20.2 Experimentdesign	258
20.3 Effekter på konvergensegenskaperna	260
20.4 Effekter på totala måluppfyllelsen (z^M)	262
20.5 Effekter på de lokala resultatmåtten (z_j^r)	265
20.6 En vägd belöningsbas	269
20.7 Sammanfattning	272
Kap 21 Avslutning: erfarenheter av simuleringsexperimenten	273
21.1 Kapitelöversikt	273
21.2 Planeringsprocessen	273
21.3 Fusk	274
21.4 Slutord	275
21.5 Sammanfattning	278
Kap 22 Slutsatser och vidare forskning	279
22.1 Kapitelöversikt	279
22.2 Slutsatser	279
22.3 Vidare forskning	282
22.4 Sammanfattning	284
Summary	285
Bilageförteckning	292
Figurförteckning	293
Tabellförteckning	296
Bilaga 1	298
Bilaga 2	299
Bilaga 3	300
Bilaga 4	304
Referenser	318

FÖRORD

Vårt intresse för denna studies ämnesområde sträcker sig tillbaka till våren 1969 då vi inledde arbetet på en gemensam seminarieuppsats rörande företagsstyrning och internprissystem.[1] I samband därmed blev vi intresserade av samordningsproblem i decentralicerade företag, prisstyrning och matematisk programmering. Detta resulterade i en forskningsrapport där dessa ämnesområden studerades och sattes i relation till internprissättning i praktiken.[2] Senare publicerade vi ännu en forskningsrapport i form av en litteraturstudie av prismekanismens teoretiska och historiska bakgrund samt olika matematiska metoder, särskilt dekompositionsmetoder, använda som en prismekanism för samordning av en decentraliserad organisationsstruktur.[3] Därmed hade vi lagt en grund för den föreliggande studien och de tidigare publicerade arbetena kan därför betraktas som den fylliga ämnesintroduktion som vi här av utrymmesskäl sett oss nödsakade att avstå från.

Inriktningen av denna studie skall ses mot bakgrund av det faktum att det inom företagsekonomin har utarbetats en lång rad s k operationsanalytiska modeller för att på olika sätt effektivisera arbetet i företag. Av dessa modeller har emellertid relativt få kommit till praktisk tillämpning. Detta har under senare år bidragit till ett ökat intresse för beteendevetenskapliga aspekter på tillämpningsproblemet. En sådan utveckling måste betraktas som både nödvändig och riktig. Risken finns dock att man bortser från att inte alla teoretiska modeller är avsedda att direkt tillämpas på praktiska problem.

Denna komplikation föreligger i allra högsta grad inom vårt studieområde. Där finns teoretiska utvecklingar i stort antal av de matematiska beräkningsmetoderna samt flera förslag att tillämpa dessa som planeringsinstrument i företag, samtidigt som det endast finns mycket små och osystematiska kunskaper om deras utformning, förutsättningar och egenskaper i samband med

1) Ljung & Selmer (1970)
2) Ljung & Selmer (1972)
3) Ljung & Selmer (1973)

en sådan tillämpning. Dylika oklara punkter bör rimligen först undersökas innan det torde vara aktuellt att utreda de beteendevetenskapliga tillämpningsaspekterna. I denna studie inriktar vi oss därför framförallt mot detta "mellanled" i tillämpningsproblemet och syftar ej till en fullständig belysning av detsamma.

Av denna anledning anser vi studiens mest betydelsefulla bidrag för det första vara omvandlingen av en matematisk beräkningsmetod till ett planeringsinstrument, vilket bl a innebär att beräkningsmetoden kompletteras med planeringsmoment som ej anges av denna. För det andra innebär analysen av detta planeringsinstruments egenskaper att avgörande tillämpningskarakteristika, som t ex den iterativa planeringsprocessens konvergensegenskaper, utförligt behandlas. Sist men inte minst betydelsefull anser vi vara den såväl teoretiska som empiriska förankring som denna studie har, vilket står i kontrast till den tidigare forskningen inom detta ämnesområde.

Studien omfattar fyra delar varav Del I är en introduktion. Var och en av de följande delarna bygger på de föregående och bör därför helst läsas i ordningsföljd. Del II ger en teoretisk referensram för tillämpning av den matematiska beräkningsmetoden som ett planeringsinstrument. I Del III exemplifieras innebörden i planeringsmetoden genom att denna konfronteras med tre verkliga planeringsproblem. I Del IV slutligen kvantifieras vissa konsekvenser av planeringsmetoden genom simuleringsexperiment på ett av de planeringsproblem som behandlas i den föregående delen.

I likhet med de tidigare inledningsvis nämnda arbetena har även denna studie utförts gemensamt av författarna. Birger Ljung ansvarar dock ensam för innehållet i kapitlen 5, 6 och 10 och Jan Selmer ansvarar ensam för innehållet i kapitlen 7, 8 och 9. För övriga kapitels innehåll ansvarar författarna gemensamt.

Många personer har på olika sätt bidragit till denna studie. Vi vill framförallt tacka Professor Peter Jennergren för hans starka och sakkunniga stöd i vårt arbete ända från dess inled-

ning. Ett tack framföres även till vår nuvarande handledare, t.f. Professor John Skår, samt till Professor Göran Bergendahl, vår handledare i inledningsskedet. Våra kollegor vid Företagsekonomiska Institutionen, Stockholms Universitet har varit till stor hjälp genom diskussioner vid seminarier och andra tillfällen. Vidare tackar vi Civilingenjör Bengt Björklund för programmeringshjälp och Fru Ulla Ståhl för hennes utskrift av detta och tidigare manus. En stor hjälp vid genomförandet av denna studie har vidare varit det finansiella bistånd som erhållits från Statens Råd för Samhällsforskning och Stockholms Universitet samt sist men inte minst det stöd vi erhållit från våra respektive familjer.

Stockholm i januari 1975

Birger Ljung Jan Selmer

Del I

INTRODUKTION

1. PROBLEMOMRÅDE

1.1 Kapitelöversikt

I följande kapitel beskrivs denna studies problemområde genom att vi ger en bakgrundsteckning åtföljd av en formulering av studiens syfte och en diskussion och motivering av utförda avgränsningar.

I avsnitt 1.2 tecknas studiens bakgrund genom att inledningsvis presentera den grundläggande idén att betrakta Dantzig & Wolfe´s dekompositionsalgoritm som en uppsättning regler för en decentraliserad planeringsprocess. Därefter demonstreras denna idés verklighetsförankring genom att bl a hänvisa till behovet av och förekommande praxis att lösa samordningsproblem i decentraliserade organisationer.

Avsnitt 1.3 inleds med att studiens syfte formuleras. Resten av avsnittet ägnas åt förtydligande avgränsningar av det angivna syftet. Dessa avgränsningar diskuteras och motiveras för att slutligen summeras i punktform.

1.2 Bakgrund

Föreliggande studie behandlar idén att betrakta en matematisk programmeringsalgoritm som en uppsättning regler vilka definierar en planeringsprocess i en decentraliserad organisation. Denna planeringsprocess definieras av Dantzig & Wolfe´s dekompositionsalgoritm som löser programmeringsproblem i uppdelad, s k blockangulär form. Algoritmen specificerar ett iterativt lösningsförfarande där successiva lösningar av subproblemen styrs via dualpriser vilka härrör ifrån masterproblemet som vid varje iteration sammanjämkar subproblemens lösningar.

Bilden av en motsvarande planeringsprocess i en decentraliserad organisation blir genast uppenbar om man låter subproblemen motsvara decentraliserade beslutsfattares lokala planeringsproblem och masterproblemet motsvara en central beslutsfattares uppgift att samordna de lokala planbesluten. Den iterativa planeringsprocessen fortgår genom att de lokala beslutsfattarna med hjälp av successivt reviderad prisinformation motiveras mot allt bättre lösningar av sina lokala planeringsproblem.

Idén att betrakta dekompositionsalgoritmen som en planeringsprocess i en decentraliserad organisation uppkom ursprungligen hos dess upphovsmän:[1]

> "Besides holding promise for the efficient computation of large-scale systems, the principle yields a certain rationale, for the 'decentralized decision process' in the theory of the firm." (Dantzig & Wolfe, 1960, sid 101)

Denna upphovsmännens idé tycks ha en klar verklighetsförankring.

För det första kan man konstatera att en decentraliserad organisationsform förutsätter en samordning av beslut och verksamhet. Ett mycket litet företag kan ledas av en enda individ men när verksamheten växer överskrides snart gränsen för denna enda individs kapacitet vad gäller informationsbearbetning och beslutsfattande och en delegering av beslut och arbetsuppgifter blir påkallad. Sådana uppdelningar av beslut och verksamhet kan ta sig en mångfald uttryck och innebära olika grader av decentralisering.[2]

---

1) Denna idé har även förordats av många andra författare, bl a Almon (1963), Baumol & Fabian (1964), Hass (1968 och 1969), Jennergren (1971), Malinvaud (1967) och Whinston (1962, 1966 A och B).

2) Begreppet decentralisering har under senare år använts som ett slagord i många skilda sammamhang. Inom ekonomisk teori och organisationsteori förekommer dock i huvudsak två uttolkningar av detta begrepp; informationsmässig decentralisering och decentralisering av beslutsfattande. Den informationsmässiga aspekten har särskilt betonats vid teoretiska jämförelser av olika ekonomiska system. En framstående företrädare för informationsaspekten är Hurwicz (1960 A och B, 1969, 1971, 1972). En inom organisationsteori närmast klassisk definition av decentralisering med betoning av beslutsaspekten har gjorts av Herbert Simon:

> "An administrative organization is centralized to the extent that decisions are made at relatively high levels in the organization; decentralized to the extent that discretion and authority to make important decisions are delegated by top management to lower levels of executive authority." (Simon et.al., 1954,s.1)

(forts. på nästa sida)

Oavsett hur långt delegeringen av beslut och verksamhet har drivits, så kan man något tillspetsat påstå att det föreligger ett behov av samordning i samma ögonblick som samtliga beslut i ett företag ej fattas av en enda individ. Uppenbarligen blir detta samordningsbehov allt mer markerat vid en ökad grad av decentralisering. Denna konsekvens av decentralisering har ofta förbisetts till förmån för en betoning av andra, framför allt beteendemässigt önskvärda effekter:

> "In particular, much of the recent literature assumes decentralization to be ipso facto desireable as a motivational device while ignoring possible implications of the result of M highly motivated managers pulling their organizations at a rapid pace in M different directions."
> (Ruefli, 1969, sid 44)

Som ovan påpekats tycks dekompositionsalgoritmen erbjuda en väldefinierad lösning på decentraliserade organisationers samordningsproblem.

För det andra kan man vidare konstatera att DW-algoritmens sätt att lösa samordningsproblemen via en prismekanism tycks vara i god överensstämmelse med förekommande praxis i större decentraliserade företag. I sådana företag bildar de decentraliserade enheterna ofta någon form av resultatenheter vilket förutsätter en värdering av interna relationer mellan enheterna, ett intern-

---

(forts. från föreg.sida)

I det följande har vi ej bruk för någon mer preciserad definition av begreppet decentralisering. I de sammanhang i den kommande framställningen där begreppet ändå förekommer avser vi därmed, såvitt annat ej sägs, en organisation med uppdelad verksamhetsstruktur, informations- och beslutsfördelning. Den uppdelade verksamhetsstrukturen och informationsfördelningen följer av den blockangulära problemformuleringen samt DW-algoritmens tolkning (se avsnitt 2.2 och 5.3 nedan). Den uppdelade beslutsfördelningen syftar på de lokala beslutsfattarnas oundgängliga medverkan i hela planeringsprocessen och därmed uppenbara möjligheter att påverka det slutliga planbeslutet. (Se f.a. kap. 10 och 20 nedan). Därutöver bör påpekas att planeringsprocessen i vissa fall förutsätter och alltid medger att det slutliga planbeslutet fattas av de lokala beslutsfattarna. (Se kap. 9 nedan)

pris.[1] Olika typer av internprissystem har numera fått en vida spridd tillämpning.[2]

För det tredje kan man även påpeka att dekompositionsalgoritmens iterativa funktionssätt har uppenbara likheter med företags budgeteringsprocesser som ofta torde kunna beskrivas som successiva förhandlingar mellan ledningsorgan och operativa enheter.

Mot bakgrund av dekompositionsalgoritmens ovan demonstrerade verklighetsanknytning har vi i denna studie tagit fasta på upphovsmännens idé att betrakta DW-algoritmen som en planeringsprocess i en decentraliserad organisation. I den följande studien sker en utveckling och analys av denna idé.

1.3 Syfte och avgränsningar

I detta avsnitt formuleras studiens huvudsyfte varefter dess huvudsakliga avgränsningar anges och diskuteras. De i detta sammanhang angivna avgränsningarna är i de flesta fall av generell karaktär, varför ytterligare specifika avgränsningar och antaganden införs i den följande framställningen där så erfordras. Noteras bör även att vårt huvudsyfte har operationaliserats i tre delsyften, ett för var och en av studiens tre delar.

> Vårt huvudsyfte är att utröna och analysera tillämpningskonsekvenser av Dantzig & Wolfe´s dekompositionsalgoritm betraktad som en uppsättning regler vilka definierar en prisstyrd kortsiktig planeringsprocess i en decentraliserad organisation.

Hädanefter förkortas Dantzig & Wolfe´s dekompositionsalgoritm till "DW-algoritmen" och den planeringsprocess som definieras av denna algoritm benämnes "DW-planering".

---

1) Olika grunder för beräkning av internpriser förekommer. Traditionellt brukar anges följande tre: kostnadsbaserade, marknadsbaserade och förhandlingsbaserade internpriser. Dessa traditionella beräkningsgrunder har vidareutvecklats till förslag om dubbla internpriser, avräkning i flera steg samt integrerad resultatmätning. (Se vidare Arvidsson, 1971)

2) Angående förekomst och utformning av internprissystem i svenskt näringsliv se Larsson, Sundqvist & Arvidsson (1971). Motsvarande förhållanden i USA belyses i Accounting for Intra Company Transfers (1956), Stone (1959) samt Interdivisional Transfer Pricing (1967).

I denna syftesformulering kan urskiljas tre huvudpunkter som torde kräva avgränsande förtydliganden; studiens allmänna inriktning, planeringsprocessen samt objektet för planeringen.

Studiens inriktning och uppläggning diskuteras mer detaljerat nedan,[1] men vi vill i detta sammanhang tydligt markera några grundläggande avgränsningar ifråga om de tillämpningskonsekvenser som behandlas. Dessa begränsar sig till DW-algoritmens omvandling till ett planeringsförfarande samt detta förfarandes förutsättningar och egenskaper som planeringsmetod. Förutom de skäl som redan anförts för en sådan avgränsning av studien,[2] kan även hävdas att denna avgränsning är motiverad av utrymmesskäl och ett rimligt krav på en enhetlig föreställningsram.

Vi vill särskilt påpeka att vi genom den valda inriktningen av studien i huvudsak ej kommer att behandla mänskliga och organisatoriska beteendeaspekter i samband med DW-planeringen.

Härav följer att denna studie ej gör anspråk på att behandla hela tillämpningsproblemet utan endast syftar till att belysa en del av detta.

Vad gäller avgränsningar av den studerade planeringsprocessen[3] kan vi inledningsvis konstatera att det finns skäl för ytterligare avgränsningar av DW-planeringen förutom den ram som DW-algoritmen utgör. Syftesformuleringens angivelse av en kortsiktig planeringsprocess är sålunda inte självklar enbart med hänvisning till DW-algoritmen. Denna förutsätter visserligen, liksom många andra matematiska programmeringsalgoritmer, en deterministisk och statisk problemformulering där teknologi och resursförhållanden är givna och endast avser en enda tidpunkt. Det har dock gjorts försök att med hjälp av dekompositionsalgoritmer sammanfoga flera enperiodiska problem till en flerperiodisk struktur.[4] På liknande sätt har även utvecklingar

---

1) Se kap. 3 nedan.

2) Se Förordet ovan.

3) Den i denna studie använda innebörden i begreppet planering klargörs i avsnitt 2.3 nedan.

4) Se avsnitt 9.4 nedan.

av den ursprungliga deterministiska formuleringen gjorts till att även innefatta stokastiska element.[1] I den följande framställningen ägnas dock vårt huvudintresse åt det statiska och deterministiska fallet och de ovan angivna utvecklingarna berörs endast flyktigt där framställningen så kräver. Avgränsningen till kortsiktig planering motiveras således av en önskan att renodla framställningen till att enbart omfatta den ursprungliga varianten av DW-algoritmen.

För det andra avgränsar vi planeringsprocessen till att endast gälla linjära problemformuleringar. Denna inriktning på linjära problem kan sägas vara motiverad av studiens tillämpningsanalytiska syfte. Den alldeles övervägande delen av de programmeringsmodeller som hittills fått praktiskt bruk har varit linjära. Ett ytterligare skäl för en avgränsning till linjära formuleringar utgörs av det faktum att denna förenkling inte i någon avgörande utsträckning påverkar studiens principiella uppläggning. Snarare föreligger en risk för att de hänsynstaganden som synes bli påkallade av ett val av det icke-linjära fallet i viss mån endast innebär en föga motiverad komplikation av den principiella analysen av de för DW-planeringen karaktäristiska tillämpningsmöjligheterna.

För det tredje begränsar vi vårt studium till den egentliga planeringsprocessen, d v s den process som avslutas genom att de för den kommande perioden gällande planbesluten fastställs.[2] Anledningen är dels den ovan nämnda avgränsningen till en statisk och deterministisk problemformulering men även en önskan att renodla studien till att främst avse

---

1) Se Jennergren (1971, sid 143-149).

2) För en utförligare beskrivning av den studerade planeringsprocessen se avsnitt 5.3 nedan.

principiella tolknings- och tillämpningsmöjligheter av DW-algoritmen i form av en decentraliserad planeringsprocess. Därvid kan givetvis ej helt bortses från genomförande och kontroll av planbeslutens utfall liksom ej heller dynamiska och långsiktiga frågor som t ex hur återföringen av planutfallet och den långsiktiga planeringen påverkar den studerade kortsiktiga planeringsprocessen. Dylika frågor berörs dock endast i förbigående eller annars när sammanhanget så påfordrar.

För det fjärde begränsar vi oss till att enbart explicit studera planeringsprocessen i en tvånivåmodell. Motsvarande problemformuleringar bildar en för DW-algoritmens applikation grundläggande struktur i s k blockangulär form.[1] Denna form är naturligt given av en uppdelad organisationsstruktur men DW-algoritmen kan även tillämpas i en multinivåmodell som kan tänkas ha uppkommit genom en ytterligare uppdelning av den lägsta nivån i en tvånivåmodell vilket resulterar i en trenivåmodell vars lägsta nivå ytterligare uppdelats osv. Man bör kanske komma ihåg att dylika tillämpningsmöjligheter föreligger även om man får anse det befogat att, mot bakgrund av vårt betonade intresse för principiella tillämpningsaspekter avseende DW-planering i allmänhet, utesluta dylika multinivåprocesser ifrån det av oss studerade planeringsförfarandet.

Vad slutligen beträffar objektet för planeringen, d v s vilken typ av verksamhet som planeras, så föreligger även här skäl att förtydliga syftesformuleringen. Idén att med hjälp av priser styra en decentraliserad planeringsprocess är på intet sätt ny. Den finns redan i Adam Smith´s idéer om prismekanismen som "en osynlig hand" vilka ytterligare utvecklades inom ramen för den s k "socialistdebatten" under 1930-talet. Oskar Lange m fl företrädde i detta sammanhang den åsikten att en form av prisstyrd planering skulle tillämpas på nationsnivå för att styra planeringsprocessen i en planekonomi.

---

1) Se avsnitt 3.2 nedan.

Man kan därför även hävda att DW-planeringen har en dylik tillämpningsmöjlighet, vilket även påpekats av flera författare.[1] Av praktiska skäl har vi dock sett oss nödsakade att avstå från en explicit studie av hela det möjliga applikationsområdet och avgränsa planeringsobjektet till en avgränsad organisation, varmed vi i första hand avser ett vinstdrivande företag.[2] Förutom framställningsmässiga, enhetlighets- och utrymmesskäl kan en dylik avgränsning även motiveras av att man på så sätt i stor utsträckning undviker för denna studies syfte mindre relevanta diskussioner om de formuleringsproblem som annars skulle föreligga. Offentliga myndigheter och organisationer har sällan målsättningskomplex som lätt kan värderas och formuleras i en målfunktion i en matematisk programmeringsmodell.

För det andra kan det sägas vara en ömsesidig påverkan mellan DW-algoritmens ovan påtalade egenskaper vilka gör att den kan tolkas som en uppsättning regler vilka definierar en decentraliserad planeringsprocess och det likaså påtalade markerade behovet av sådana precist definierade planeringsförfaranden som medfört att studien avgränsats till planeringsobjekt med en uppdelad, decentraliserad verksamhetsstruktur. Vårt studerade planeringsobjekt består således av en decentraliserad organisation där det föreligger behov av att samordna de olika organisationsenheternas verksamhet mot ett gemensamt totalmål. Önskvärdheten av denna samordning impliceras av att man i frånvaro av samordning ej kan uppnå samma totala måluppfyllelse som vid samordning. Decentralisering kan även hävdas förutsätta att företrädare för de uppdelade organisationsenheterna i något avseende skall delta i den beslutsprocess som föregår de slutliga planbesluten så att de har möjlighet att påverka dessa besluts utformning, även om de i enskilda fall avstår ifrån att utnyttja denna möjlighet. Även i denna mening antas det studerade planeringsobjektet avse decentraliserade organisationsstrukturer, dock med det tillägget att det samordnande organet antas stå i någon form av makt- eller

---

1) Se exempelvis Almon (1963, sid 462-466) och Kornai (1967, sid 381).

2) Vi vill dock påpeka att DW-planeringen även kan betraktas som en metod för kartellbildningar. Denna tillämpningsmöjlighet synes ej tidigare ha uppmärksammats i litteraturen.

snarare auktoritetsrelation till de organisationsenheter som skall samordnas.

De ovan diskuterade generella avgränsningarna av studien kan sålunda sammanfattas i följande punkter:

Studiens inriktning:

1) Ej hela tillämpningsproblematiken, endast DW-planeringens utformning, förutsättningar och egenskaper.

2) Ej mänskliga och organisatoriska beteendeaspekter.

Planeringsprocessen:

1) Statisk och deterministisk ⟶ kortsiktig planering

2) Linjära problemformuleringar

3) Endast den egentliga planeringsprocessen;
t o m fastställande av planbeslut

4) Tvånivåmodell

Planeringsobjektet:

1) Vinstdrivande företag

2) Uppdelad, decentraliserad verksamhets- och organisationsstruktur.

1.4 Sammanfattning

I avsnitt 1.2 fann vi att DW-planeringen har en solid verklighetsförankring i ett flertal avseenden. För det första erbjuder DW-algoritmen en väldefinierad lösning på decentraliserade organisationers samordningsproblem. För det andra tycks DW-algoritmens tillvägagångssätt att via en prismekanism lösa samordningsproblemet väl överensstämma med förekommande internprispraxis i större decentraliserade företag. För det tredje har DW-algoritmens iterativa förfarande stora likheter med ett företags budgeteringsprocess.

I avsnitt 1.3 angavs att syftet med studien är att belysa DW-planeringens tillämpningsproblematik. Vidare urskiljdes tre huvudområden för förtydligande avgränsningar av detta syfte: studiens allmänna inriktning, planeringsprocessen och planeringsobjektet.

2. DANTZIG & WOLFE´S DEKOMPOSITIONSALGORITM

2.1 Kapitelöversikt

I avsnitt 2.2 beskrivs DW-algoritmen relativt utförligt. Detta sker dels genom beskrivning av DW-algoritmens funktionssätt och dels genom konstruktion av ett flödesschema över densamma. I detta flödesschema genomförs därefter ett antal smärre förändringar vilka motiveras med utgångspunkt från den valda tolkningen av DW-algoritmen.

I avsnitt 2.3 återges mycket kortfattat den tolkningsidé där DW-algoritmen ses som en uppsättning regler vilka specificerar ett planeringsförfarande i en decentraliserad organisation d v s den s k DW-planeringen.

2.2 Beskrivning av DW-algoritmen

DW-algoritmen kan ses som en av många utvecklingar inom den linjära programmeringen vilka gjorts i syfte att möjliggöra lösandet av mycket stora linjärprogrammeringsproblem (LP-problem).

Som en matematisk teknik har linjärprogrammering existerat sedan omkring år 1948 och redan i början av 1950-talet gjordes försök att göra denna teknik beräkningstekniskt lämpad för praktiska problem. Det stod mycket snart klart att antalet variabler och restriktioner tenderar att bli stort även för relativt enkla modeller och att det erforderliga beräkningsarbetet vid lösning med hjälp av Simplexmetoden ofta, med dåtidens begränsade kapacitet hos beräkningstekniska hjälpmedel, blev helt ogenomförbart. Vidare observerades att de stora LP-problemen ofta hade liten andel icke noll-element i koefficientmatrisen och att dessa ofta tenderade att uppträda i vissa mönster eller block.[1]

För att kunna lösa dessa stora LP-problem och för att kunna utnyttja problemens speciella struktur gjordes en rad utvecklingar dels av simplexalgoritmen och dels genom utarbetande av helt nya lösningsmetoder. Det senare skedde dels genom s k problemmanipulation, vilket innebär att problemet omformuleras för att bli

---

1) Orchard-Hays (1968, sid 239)

mer lätthanterligt[1] och dels genom utarbetandet av nya lösningsstrategier, vilket innebär att lösandet av stora svårlösta LP-problem sker genom att en serie mindre LP-problem löses.[2]

DW-algoritmen, vilken presenterades 1958,[3] bygger på idén att genom inre linjärisering (en form av problemmanipulation) minska antalet restriktioner på bekostnad av antalet variabler och sedan genom "restriction" (en lösningsstrategi) minska nackdelarna med de många variablerna genom att variablerna och därtill hörande kolumner endast genereras när de behövs i den iterativa lösningsprocessen. Kombinationen - Inre linjärisering/ "restriction" har sedan legat till grund för ett flertal olika dekomponeringsalgoritmer.[4]

> "The D-W algorithm is so general that the variety of forms it can take seems endless. In reality, the D-W algorithm is less an algorithm than an approach." (Orchard-Hays, 1968, sid 249)

DW-algoritmen bygger på att problemformuleringen har s k blockangulär struktur[5] och vi utgår därför från följande problemformulering:

$$\underset{x_j}{\text{Maximera}}\ Z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \qquad 2.1.a$$

$$\text{mht} \quad \sum_{j=1}^{n} A_j x_j \leq a \qquad 2.1.b$$

$$B_j x_j \leq b_j \quad j=1,\ldots,n \qquad 2.1.c$$

$$x_j \geq 0 \quad j=1,\ldots,n^{6} \qquad 2.1.d$$

---

1) Problemmanipulation "are devices for restating a given problem in an alternative form that is apt to be more amenable to solution". Geoffrion (1970, sid 652, 653)

2) Lösningsstrategier "reduce an optimization problem to a related sequence of simpler optimization problems". Geoffrion (1970, sid 653)

3) Se Dantzig (1963, kap 23), Dantzig & Wolfe (1958, 1960 och 1961) samt Wolfe & Dantzig (1960).

4) Se exempelvis en sammanställning i Geoffrion (1970, sid 656).

5) Denna struktur framgår av fig.1.

6) Att s k nollrestriktioner införts begränsar ej problemformuleringens allmängiltighet eftersom andra typer av variabler kan överföras till denna form. Se exempelvis Orchard-Hays (1969, sid 12-17).

där c_j är en $1 \times n_j$ radvektor
x_j är en $n_j \times 1$ kolumnvektor
A_j är en $m \times n_j$ matris
a är en $m \times 1$ kolumnvektor
B_j är en $m_j \times n_j$ matris
b_j är en $m_j \times 1$ kolumnvektor för varje $j=1,\ldots,n$
O är en kolumnvektor, av samma dimension som respektive x_j, innehållande endast nollelement.

Beslutsvariablerna x_j, $j=1,\ldots,n$, antas kontinuerligt varierbara.[1]

Problemformuleringens blockangulära struktur framgår av figur 1.

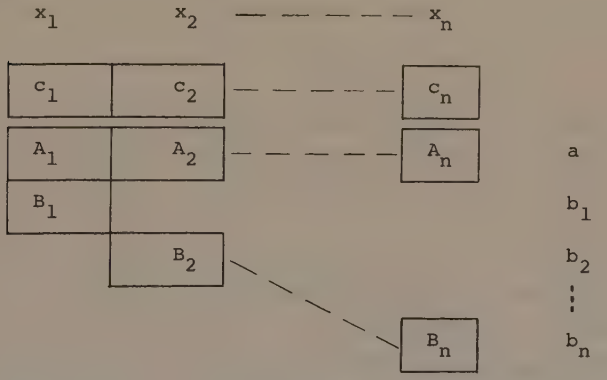


Fig. 1 Den ursprungliga problemformuleringens struktur. (Dantzig & Wolfe, 1961, sid 768)

Problemformuleringen innehåller $\sum_{j=1}^{n} n_j$ variabler och $m + \sum_{j=1}^{n} m_j$ restriktioner. Varje tänkbart linjärprogrammeringsproblem kan inordnas i denna formulering exempelvis genom att sätta $n = 1$. DW-algoritmen anses dock mer attraktiv om $n > 1$ och vi resonerar i det följande som om så vore fallet. I den blockangulära matrisen av restriktioner benämner vi tills vida-

1) S k heltalsrestriktioner tillåts således icke. Förekomsten av sådana restriktioner medför vissa problem vid tolkningen och användningen av dualpriserna. Se exempelvis Alcaly & Klevorick (1966), Baumol (1965), Gomory & Baumol (1960) samt även Koopmans & Beckmann (1957) vilka söker ange hur dessa problem kan lösas genom korrigering av dualpriserna.

re villkoret $\sum_{j=1}^{n} A_j x_j \leq a$ för sammanbindande restriktioner medan ett villkor av typen $B_j x_j \leq b_j$ benämnes det j:te blocket av restriktioner.

Vi skall nedan först beskriva problemmanipuleringen "inre linjärisering" och därefter lösningsstrategin "restriction".

Den problemmanipulering (omformulering) som används av Dantzig och Wolfe bygger på det faktum att varje tänkbar punkt (förutom extremalpunkter[1]) tillhörande en kompakt, begränsad[2] och konvex[3] mängd i E^n kan uttryckas som en linjär kombination av ett antal extremalpunkter i denna mängd.[4]

I det följande får S_j beteckna den för det j:te blocket av restriktioner tillåtna lösningsmängden d v s

$$S_j = \{x_j \mid x_j \geq 0,\ B_j x_j \leq b_j\} \quad \text{för } j=1,\ldots,n \qquad 2.2$$

S_j som på grund av linjäritetsantagandet är en konvex polyeder antas i det följande vara begränsad.[5,6] Vidare får

$$W_j = \{x_{j1}, \ldots\ldots, x_{jK_j}\} \qquad 2.3$$

beteckna mängden av alla extremalpunkter i S_j, j=1,...,n. I S_j finns alltså K_j extremalpunkter där K_j på grund av linjäritetsantagandet är ett ändligt tal.

Slutligen krävs för omformuleringen för varje j=1,...,n även följande beteckningar:

---

1) Med en mängds extremalpunkter menas de punkter i en mängd som icke kan uttryckas som en linjär kombination av två andra punkter i mängden. Se exempelvis Appelgren, Sundström och Zachrisson (1970, sid 20).

2) "En begränsad mängd i E^n är en mängd som kan inneslutas i en n-dimensionell sfär med ändlig radie." (Ibid. sid 13)

3) "En mängd X kallas konvex om alla punkter på linjestycket mellan två godtyckligt valda punkter x och y i X tillhör X." (Ibid. sid 14)

4) Detta benämnes inre linjärisering.

5) Även om lösningsmängderna S_j, j=1,...,n är endast konvexa och icke linjära uppnås konvergens, dock icke ändlig. Se Orchard-Hays (1968).

6) För utvecklingen av dekompositionsmetoden till icke begränsade fallet se Dantzig & Wolfe (1961, sid 773) samt Dantzig (1963, sid 453).

$$\left.\begin{aligned} a_{jk} &= A_j\, x_{jk} \\ c_{jk} &= c_j\, x_{jk} \end{aligned}\right\} \quad \text{för } k = 1 \ldots\ldots K_j \qquad 2.4$$

Vektorn a_{jk} (av dimensionen m x 1) betecknar således effekten på de sammanbindande restriktionerna av den k:te extremalpunkten i j:te blocket medan c_{jk} (en skalär) betecknar effekten på Z av samma extremalpunkt.

Problemformuleringen 2.1 kan nu omformuleras till nedanstående s k masterproblem.[1] Därvid har vikten s_{jk} tillordnats extremalpunkten x_{jk}.

$$\underset{s_{jk}}{\text{Max}}\ Z^M = \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{K_j} c_{jk}\, s_{jk} \qquad 2.5.a$$

$$\text{mht} \quad \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{K_j} a_{jk}\, s_{jk} \leq a \qquad 2.5.b$$

$$\sum_{k=1}^{K_j} s_{jk} = 1 \quad j=1,\ldots,n \qquad 2.5.c$$

$$s_{jk} \geq 0 \quad j=1,\ldots,n,\ k=1,\ldots,K_j \qquad 2.5.d$$

I masterproblemet sökes sådana värden på de vikter s_{jk}, som tillordnats varje extremalpunkt, att restriktionerna 2.5.b beaktas och Z^M maximeras. Om s^o_{jk} får beteckna de på detta sätt erhållna optimala vikterna så utgör tydligen vektorerna

$$\hat{x}^o_j = \sum_{k=1}^{K_j} x_{jk}\, s^o_{jk} \qquad j=1,\ldots,n$$

lösningen till det ursprungliga problemet 2.1. Omformuleringen har förändrat antalet restriktioner från $m + \sum_{j=1}^{n} m_j$ till $m+n$ d v s vart och ett av de n blocken av restriktioner har ersatts med en viktrestriktion. Antalet variabler har ändrats från $\sum_{j=1}^{n} n_j$ till $\sum_{j=1}^{n} K_j$ vilket kan motsvara en mycket stor ökning.

Denna omformulering skulle isolerat förmodligen te sig helt ointressant. Lösningsstrategin "Restriction" bygger dock på idén att ej i likhet med vad som sker vid användande av simplexmetoden låta samtliga kolumner (variabler) ingå i lösningstablån,

---

1) Av somliga författare även benämnt extremalproblem.

utan endast de som i en viss iteration ingår i basen d v s ingår i lösningen och att i varje iteration generera den kolumn som skall tas in i basen. På detta sätt behöver förhoppningsvis endast ett förhållandevis litet antal kolumner tas fram. Nedan beskrivs en iteration vid tillämpandet av denna lösningsstrategi.

Antag att en tillåten lösning till masterproblemet är känd. Ur denna lösning av masterproblemet kan enkelt beräknas de dualpriser som i den aktuella lösningen gäller för de i masterproblemet ingående restriktionerna. Dualpriserna avseende de sammanbindande restriktionerna och avseende viktrestriktionerna betecknas härefter p^t, en 1 x m radvektor, respektive $\bar{p}^t$, en 1 x n radvektor, där t betecknar den sista iterationen. Iterationen tänkes ta sin början med framtagandet av p^t och $\bar{p}^t$.

För att förbättra den kända lösningen av masterproblemet skulle vid användande av simplexmetoden en kolumn för vilken

$$\delta_{jt} = (c_j - p^t A_j)\, x_{jt} - \bar{p}_j^t > 0 \qquad 2.6$$

läggas till basen och en annan kolumn utgå.[1] Om vi för tillfället antar att minst en sådan kolumn existerar skulle vid användande av den reviderade simplexmetoden den kolumn som har högsta δ-värde tas in i basen. Detta senare blir i vår problemformulering analogt med att för varje j lösa nedanstående s k subproblem och sedan låta den av lösningarna som har högst δ-värde ingå i lösningen av masterproblemet.

$$\underset{x_j}{\text{Max}}\ (c_j - p^t A_j)x_j \qquad 2.7.a$$

$$\text{mht} \quad B_j x_j \leq b_j \qquad 2.7.b$$

$$x_j \geq 0 \qquad 2.7.c$$

Lösningarna av dessa problem utgörs på grund av att målfunktionen är linjär alltid av en (ev. flera) extremalpunkter i respektive mängd S_j. Om $\delta_{jt} \leq 0$ för samtliga av dessa extremalpunkter är den tidigare kända lösningen av masterproblemet optimal och optimala värden på beslutsvariablerna kan då räk-

---

1) Se exempelvis Dantzig & Wolfe (1961, sid 771) eller Dantzig (1963, kap 5).

nas fram enligt uttrycket

$$\hat{x}_j^o = \sum_{k=1}^{t} s_{jk}^o \, x_{jk} \qquad j=1,\ldots,n \qquad 2.8$$

där vikterna s_{jk}^o givits de värden som maximerar z^M. [1]

Om däremot $\delta_{jt} > 0$ för minst en av extremalpunkterna är den tidigare lösningen ej optimal och kan alltså förbättras genom att den extremalpunkt som ger högsta δ_{jk} tas in i masterproblemets bas och en annan kolumn tas ut. En enda pivotering utförs då i masterproblemet vid varje iteration.

Detta iterativa förfarande har av Dantzig & Wolfe under antagande om icke-degeneration visats ge strikt monoton konvergens mot optimum efter ett ändligt antal iterationer.[2]

I ovanstående resonemang gällande hur en tillåten lösning förbättras antogs att en tillåten startlösning var känd. Om så ej skulle vara fallet kan motsvarande förfarande användas som vid sökande av startlösning till simplexmetoden d v s det gängse Fas-I förfarandet.[3] Den iterativa processen, förutom Fas-I, sammanfattas i figur 2.

---

1) Eftersom t betecknar antalet iterationer borde till summeringen även läggas de extremalpunkter som eventuellt medtas för att uppnå en tillåten startlösning. Detta görs dock endast när framställningen så kräver.

2) För bevis se Dantzig & Wolfe (1958 och 1961) samt Wolfe & Dantzig (1960).

3) För beskrivning av detta se Dantzig (1963, sid 101-104).

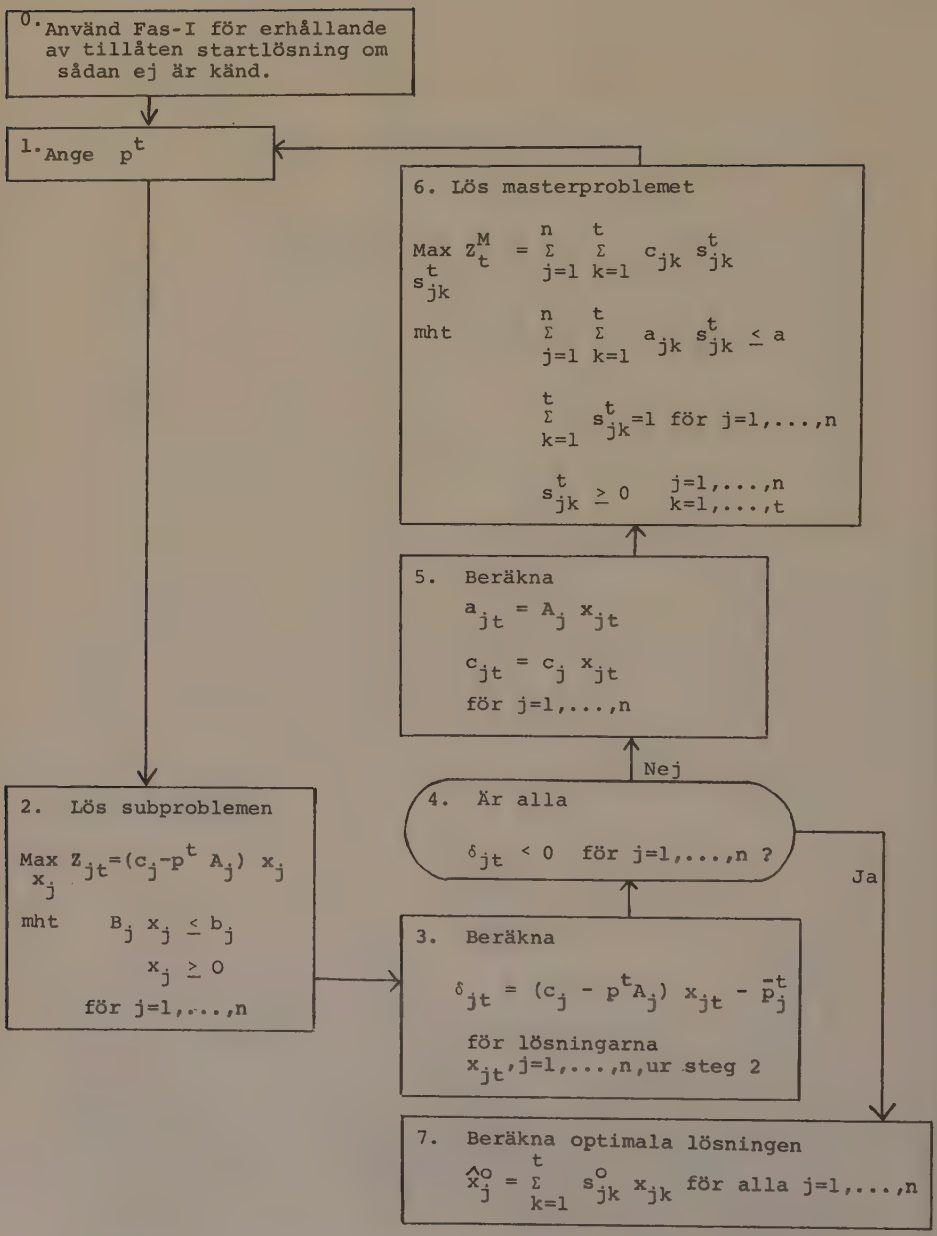


Fig. 2 Flödesschema över DW-algoritmen

Den i fig.2 presenterade iterativa processen motsvarar den ursprungliga av Dantzig och Wolfe presenterade. Som tidigare framgått gäller vårt intresse för denna process den tolkning där denna ses som en uppsättning regler för lösande av planeringsproblem av visst slag inom ett företag. Vi skall nedan presentera ett antal smärre ändringar i processen av vilka somliga redan föreslagits i litteraturen. Dessa ändringar motiveras med utgångspunkt från den valda tolkningen vilken närmare kommer att presenteras i nästföljande avsnitt.

I den valda tolkningen tänkes den i problemformuleringen ingående informationen fördelad på ett sådant sätt att master- och subproblem löses av olika organisatoriska enheter. Således finns ingen möjlighet att genom en direkt applicering av det gängse Fas I-förfarandet på något av dessa problem erhålla en startlösning vilken med säkerhet är tillåten med hänsyn tagen till samtliga i totala problemformuleringen ingående restriktioner.[1] En tillåten startlösning måste således framtas på annat sätt vilket behandlas i avsnitt 7.4.

I den följande framställningen kommer vi vidare att framhålla vikten av att totala antalet iterationer kan hållas så lågt som möjligt. I syfte att nedbringa totala antalet iterationer har vi därför valt att utgå från en något modifierad variant av den i fig. 2 presenterade iterativa processen. Den åsyftade modifieringen som bygger på s k "multiple pricing"[2] har av Lasdon[3] m fl författare hävdats medföra förbättrade konvergensegenskaper.

Enligt fig. 2 skall endast den extremalpunkt som ger högsta δ_{jt} tas in i masterproblemets bas och en annan kolumn tas ut d v s en enda pivotering skall utföras i masterproblemet vid varje iteration. Vid "multiple pricing" däremot går samtliga från subproblemen erhållna extremalpunkter (n st) in i masterproblemet

---

1) I samband med presentationen av dekompositionsmetoden presenterade Dantzig & Wolfe även en modifierad variant av Fas I-förfarandet. (Se Dantzig & Wolfe 1966, sid 772 och 773 samt Dantzig 1963, sid 454). I detta genereras lösningsförslag till ett radikalt modifierat masterproblem genom lösandet av likaså modifierade subproblem. Detta sker i en iterativ process liknande den i fig.3 beskrivna. Detta förfarande låter sig dock svårligen ges en meningsfull ekonomisk tolkning i samband med DW-planering.

2) Se Lasdon (1970, sid 221-222).

3) Ibid, sid 224-230. Se vidare avsnitt 7.5 nedan.

som således utökas med n st kolumner vid varje iteration.[1] Detta medför att masterproblemet vid varje iteration löses som ett nytt LP-problem vilket kan ske med någon variant av simplexmetoden. Att samtliga framtagna extremalpunkter medtas i masterproblemet kan betraktas som ett sätt att söka utnyttja all den information som framkommit vid lösandet av subproblemen.

Slutligen har vi valt att även modifiera optimalitetstestet. Enligt det i fig. 2 presenterade optimalitetstestet undersöks huruvida minst en extremalpunkt, x_{jt}, framtagits för vilken $\delta_{jt} > 0$ d v s ett införande i masterproblemet skulle leda till ökat z_t^M.[2] Om $z_t^M = z_{t-1}^M$ har ej någon sådan extremalpunkt framtagits varför den iterativa processen kan stoppas. Införandet av detta optimalitetstest medför att beräkningen av δ_{jt} helt kan slopas vilket ter sig som en förenkling av den iterativa processen.[3]

I figur 3 redovisas den iterativa processen efter ovan nämnda förändringar.[4]

---

1) Denna möjlighet påpekades av Dantzig & Wolfe redan vid presentationen av metoden. Se Dantzig & Wolfe (1961, sid 774).

2) För en utförlig förklaring av innebörden i δ_{jt} se Baumol & Fabian (1964, sid 12-14).

3) δ_{jt} används dock i kap 8 vid framtagandet av olika tumregler för trunkering.

4) De av oss vidtagna förändringarna av den ursprungliga DW-algoritmen är således av smärre slag och rubbar på intet sätt dess grundläggande funktionssätt. En mer långtgående modifiering av DW-algoritmen har presenterats av Kornai (1969 A och B). Denna betecknas av sin upphovsman som en "naiv heuristisk variant av DW-algoritmen" enligt vilken konvergens ej kan garanteras (Kornai, 1969 B, sid 209).

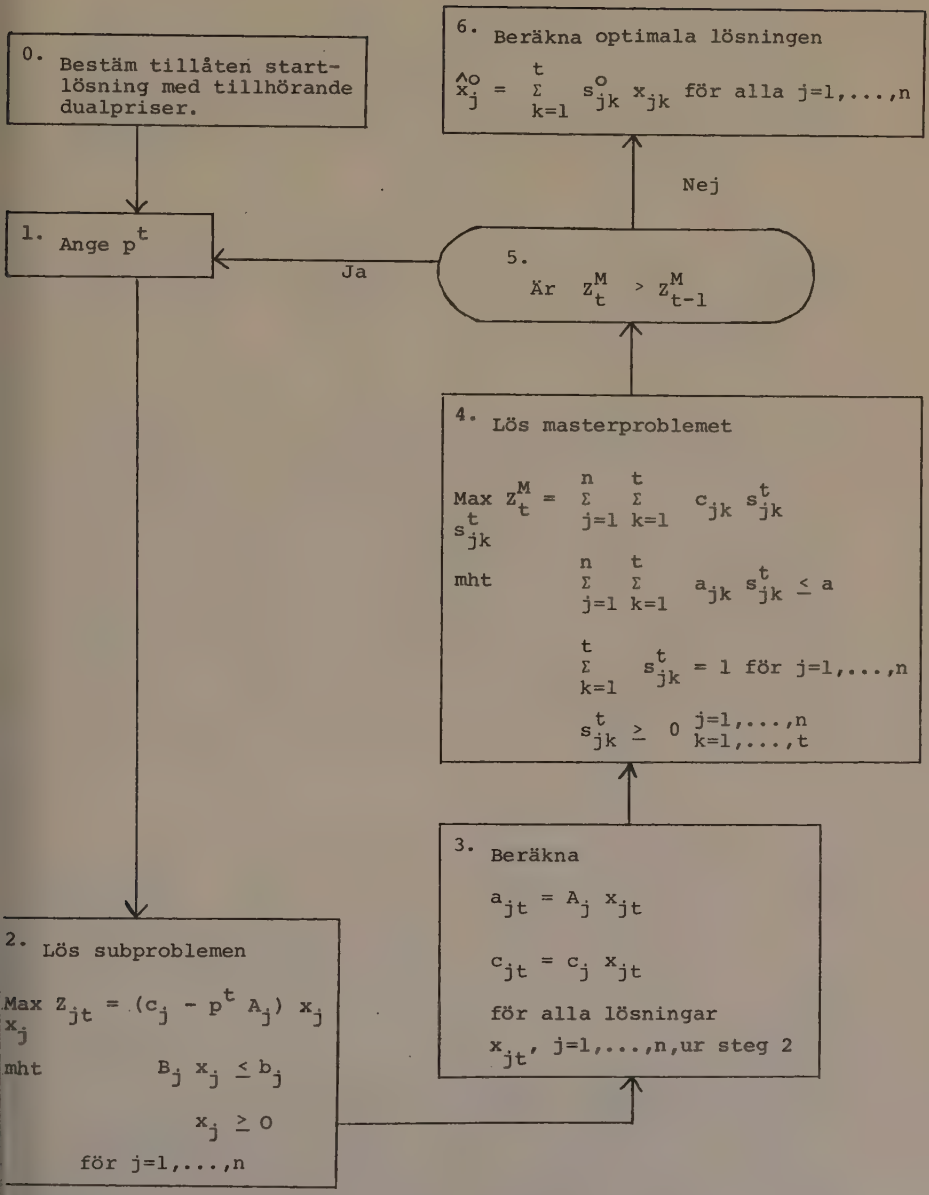


Fig. 3 Flödesschema över DW-algoritmen efter modifieringar.

2.3 DW-planering: en organisatorisk tolkningsidé

Som tidigare påpekats gäller vårt intresse för DW-algoritmen den tolkning av denna där metoden ses som en uppsättning regler vilka specificerar en planeringsprocess för kortsiktig planering i ett företag.[1] Denna tolkningsidé som redan vid presentationen av DW-algoritmen uppmärksammades av Dantzig & Wolfe har behandlats av ett flertal författare. Vi skall nedan summariskt återge denna idé till tolkning.

Problemformuleringen 2.1 ses här som gällande att inom ramen för vissa givna begränsningar välja aktivitetsnivåer för en viss tidsperiod, d v s planer, på ett sådant sätt att en viss given målfunktion maximeras.[2]

Företaget antas bestå av två nivåer, den övre nivån av en central enhet/beslutsfattare (härefter benämnd CE) och den lägre nivån av n st lokala enheter/beslutsfattare (härefter benämnda LE_j, j=1,...,n). CE som är organisatoriskt överordnad samtliga LE har uppgifter av samordnande karaktär medan varje LE har att, med utgångspunkt från av CE givna direktiv, delta i den process som leder fram till val av värden på aktivitetsnivåerna samt att därefter genomföra dessa. De till respktive LE_j, j=1,...,n hänförliga aktiviteterna vars nivåer motsvaras av vektorn x_j utgör en "kolumn" i problemformuleringen 2.1. (Fig.4)

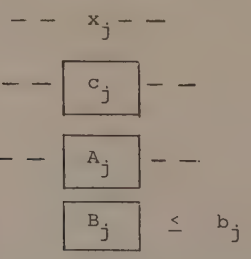


Fig. 4 En LE:s del i problemformuleringen.

---

1) Vissa författare har vid studium av planeringsförfaranden baserade på dekomponering angett branscher, sektorer av ekonomier eller hela ekonomier som planeringsobjekt. Se exempelvis Kornai (1969 och 1973), Kornai & Liptäk (1965), Kutcher (1973), Malinvaud (1967), Ross (1969) och Weitzman (1970).

2) Begreppet planering ges ofta en vidare innebörd. I det följande avses dock med planering fastställandet av ett givet antal aktivitetsnivåer.

Vid maximeringen skall således både de gemensamma restriktionerna och de vilka avser endast en LE, härefter benämnda lokala restriktioner, beaktas. Den p g a förekomsten av de gemensamma restriktionerna nödvändiga samordningen av planeringen tänkes ske genom att CE och LE utför de beräkningar och informationsöverföringar som specificeras av DW-algoritmen.

Masterproblemets sammanvägande/koordinerande funktion utföres därvid av CE medan lösandet av subproblemen utföres av respektive LE. Varje iteration påbörjas med att CE, till respektive LE, i en eller annan form, översänder de senast erhållna dualpriserna på de gemensamma restriktionerna varefter respektive LE med utgångspunkt från dessa beräknar optimala aktivitetsnivåer (d v s löser subproblemen). Dessa nya lösningsförslag (tidigare benämnda extremalpunkter) meddelas till CE. Detta kan ske i olika form beroende på förekomsten av flera tolkningsmöjligheter vilka behandlas i avsnitt 5.3. CE gör därefter en ny hopvägning d v s löser masterproblemet. Detta ger nya dualpriser varefter processen kan upprepas till optimum nås. Vid varje iteration ges således LE i uppdrag att under beaktande av sina respektive restriktioner maximera värdet av den ursprungliga målfunktionen gällande x_j där denna korrigerats med x_j:s effekter på de gemensamma restriktionerna. Dessa effekter värderas därvid enligt de senast erhållna dualpriserna.

I denna framställning ses således DW-algoritmen som en uppsättning regler vilka specificerar ett planeringsförfarande inom en organisation. Detta planeringsförfarande benämnes som tidigare framgått för DW-planering.

2.4 Sammanfattning

I avsnitt 2.2 beskrevs Dantzig och Wolfe´s dekompositionsalgoritm. Detta skedde dels genom beskrivning av de i algoritmen grundläggande principerna och dels genom uppställande av ett flödesschema över algoritmen. Med utgångspunkt från den valda tolkningen motiverades ett antal smärre förändringar i algoritmen vilka infördes i ett nytt flödesschema. Dessa förändringar

innebar slopande av det gängse Fas I-förfarandet, införandet av s k "multiple pricing" samt förändring av optimalitetstestet.

I avsnitt 2.3 återgavs mycket kortfattat den tidigt föreslagna tolkningen av DW-algoritmen där denna ses som en uppsättning regler vilka specificerar ett planeringsförfarande i decentraliserade företag.

3. METODIK

3.1 Kapitelöversikt

Kapitlet innehåller en diskussion av studiens inriktning och ansats mot bakgrund av tidigare redovisade syfte och avgränsningar.

I avsnitt 3.2 anges och diskuteras två grundläggande riktlinjer för den följande studiens inriktning.

Avsnitt 3.3 beskriver studiens ansats och uppläggning i tre delar; tillämpningsanalys, fallstudier och simlueringsexperiment.

3.2 Riktlinjer

Mot bakgrund av vårt tidigare redovisade syfte med denna studie och utförda avgränsningar har vi funnit det motiverat med en ansats efter följande riktlinjer:

(1) omvandling av DW-algoritmen till ett planeringsinstrument; DW-planering.

(2) studium av DW-planeringens förutsättningar och egenskaper som planeringsmetod. Såväl teoretiskt som empiriskt.

Omvandlingen av DW-algoritmen innebär att denna tolkas i planeringstermer. För att den härav resulterande beskrivningen av DW-planeringen skall bli fullständig krävs dels att alternativa tolkningar utförs på punkter där DW-algoritmen ej är entydig och att konsistenta kompletteringar görs ifråga om planeringsmoment som ej specificeras av algoritmen.

Analysen av DW-algoritmens förutsättningar och egenskaper sker helt från planeringssynpunkt. De kunskaper som finns om DW-algoritmen härrör väsentligen från dess användning som en beräkningsteknik för att lösa stora LP-problem och det torde vara uppenbart att andra förutsättningar och egenskaper kan bli betydelsefulla när DW-algoritmen betraktas som en planeringsprocess. DW-algoritmens tekniska egenskaper och funktionssätt utgör emeller-

tid en grund för att belysa DW-planeringens teoretiska förutsättningar som planeringsmetod.

För att även ge en empirisk förankring åt studien av DW-planeringen bör denna även konfronteras med verkliga planeringsproblem i existerande företag. En empirisk belysning av denna typ av planeringsmetods förutsättningar och egenskaper synes högst angelägen inte minst mot bakgrund av en oförklarlig brist på sådana publicerade forskningsresultat. Önskvärt vore att både studera planeringsproblemets formulering samt utfall av och egenskaper hos den egentliga planeringsprocessen.

3.3 Vald ansats

De i ovanstående avsnitt angivna riktlinjerna för val av ansats har medverkat till att vår studie utformats i tre delar; teoretisk tillämpningsanalys, fallstudier samt simuleringsexperiment. I tillämpningsanalysen omvandlas DW-algoritmen till DW-planering samtidigt som DW-planeringens teoretiska förutsättningar som planeringsmetod behandlas. I fallstudierna och simuleringsexperimenten sker den empiriska förankringen av dessa förutsättningar.

Teoretisk tillämpningsanalys

I denna del söker vi skapa en generell teoretisk referensram för tillämpning av DW-algoritmen som ett planeringsinstrument. Detta åstadkommes genom att tolka DW-planeringens innebörd och att analysera dess teoretiska förutsättningar och egenskaper som planeringsmetod. Tillämpningsanalysen är utformad i tre moment varav det första behandlar problemformuleringens tolkningsutrymme samt planeringsprocessens innebörd. Med benämningen "tolkningsutrymme" avser vi spännvidden mellan olikartade typer av fenomen som kan inkorporeras i problemformuleringen. Detta tolkningsutrymme belyses genom att vi ger så allsidiga exempel som möjligt på olika fenomen som kan uttryckas i målfunktion, gemensamma och lokala restriktioner. Vad gäller planeringsprocessens innebörd gör vi i detta inledande analysmoment endast en fullständig tolkning av de planeringsfaser som explicit specificeras av DW-algoritmen.

Tillämpningsanalysens andra moment avser planeringsproblemets

formulering. Dels utgår vi här från allmänna aspekter på problemformulering som val av avgränsning och beskrivningsnivå, men dels även från DW-algoritmens specifika formuleringskrav.

Det tredje momentet i tillämpningsanalysen behandlar planeringsprocessen. Här riktar vi vår uppmärksamhet dels mot egenskaper och funktionssätt hos DW-algoritmen som väsentligt kan påverka planeringsutfallet, dels mot de faser av planeringsprocessen som ej explicit specificeras av DW-algoritmen.

Fallstudier

I denna del av vår studie exemplifierar vi innebörden av DW-planeringen när denna konfronteras med verkliga planeringsproblem. DW-algoritmens krav på planeringsproblemet illustreras genom att tre existerande företags planeringsproblem formuleras med särskild betoning av avgränsnings- och struktureringsaspekter. Vidare beskrivs planeringsprocessens utformning i respektive företags planeringstermer. De tre fallstudierna utförs genomgående i kvalitativa termer.

I enlighet med fallstudiernas explorativa inriktning har valet av företag/planeringsproblem tillgått på ett relativt opretentiöst sätt. Vid detta val har vi främst försökt åstadkomma så belysande och mångsidiga exempel som möjligt inom ganska snäva praktiska ramar. Av denna anledning har vi valt exemplen i positiv anda, d v s riktat in oss på sådana planeringsproblem som medger en meningsfull tolkning i DW-planeringens termer.

Vad gäller fallstudiernas utformning har vi i samtliga tre fall eftersträvat en likformig uppläggning. Varje fallstudie inleds med några allmänna företagsdata följd av en beskrivning av planeringsproblemet i företagsspecifika teknisk-ekonomiska termer. Med denna beskrivning som utgångspunkt skisseras därefter tänkbara utformningar av såväl DW-planeringens problemformulering som planeringsprocess. Varje fallstudie avslutas med en kortfattad jämförelse av DW-planeringen och respektive företags nuvarande planeringsförfarande.

Simuleringsexperiment

I denna del av studien kvantifieras vissa konsekvenser av DW-planeringen när denna appliceras på ett av de i fallstudierna beskrivna planeringsproblemen. Därvid utnyttjas erfarenheterna av de föregående delarna för en konkret belysning av DW-planeringens konsekvenser i anslutning till planeringsprocessens olika faser.

Valet av planeringsproblem har här helt betingats av praktiska skäl som tillgänglighet av och beredvillighet att tillhandahålla data, eftersom vårt ovan redovisade krav på en meningsfull tolkningsmöjlighet av DW-planeringen får anses vara tillfredsställande tillgodosett för samtliga tre planeringsproblem som redovisats i fallstudierna.

Simuleringsexperimentens utformning har gjorts i enlighet med de två huvudaspekter vi önskat behandla: planeringsprocessens egenskaper samt effekter av fusk. Redovisningen av simuleringsexperimenten har disponerats som följer. I inledningen ger vi en metodbeskrivning avseende vår hantering av indata och datorbearbetning. Därpå redovisas resultaten av simuleringen av planeringsprocessen där kvantifierade konsekvenser av DW-planeringen redovisas för planeringens samtliga faser. Därefter redovisas resultaten av simuleringen av fusk. Härvid beskrivs både konvergens- och måleffekter samt möjligheten att förhindra fusk.

Vi kan sålunda hävda att vårt forskningsproblem angrips med en tratteknik. Ett sådant tillvägagångssätt medger att man genom successiva avgränsningar kan nå allt lägre beskrivningsnivåer av ett studieobjekt. Trattekniken tillåter således att man kan behålla överblicken över ett vittomfattande studieområde samtidigt som detaljkunskaper kan utvinnas. För att uppnå detaljinblicken måste emellertid blickfånget av praktiska skäl begränsas, d v s trattekniken gör studien successivt "djupare" men även "smalare". Detta medvetet tillämpade angreppssätt i vår studie illustreras i figur 5 nedan.

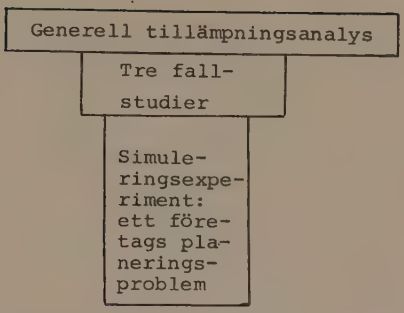


Fig. 5 Studiens tratteknik

I anslutning till ovanstående figur kan vår ansats således sammanfattas på följande sätt. Den inledande delen av studien består av en generell tillämpningsanalys av DW-planeringen utan referens till något visst planeringsproblem. Därefter följer delen med de tre fallstudierna vilket innebär en avgränsning men även en väsentlig fördjupning av studien eftersom DW-planeringens utformning här beskrivs i termer av verklighetens komplicerade planeringsproblem. I studiens tredje och sista del sker en ytterligare avgränsning till ett enda planeringsproblem till förmån för en fortsatt fördjupning i form av kvantifieringen av vissa konsekvenser av DW-planeringen.

3.4 Sammanfattning

I avsnitt 3.2 angavs mot bakgrund av studiens syfte och avgränsningar två riktlinjer för val av ansats och uppläggning: omvandling av DW-algoritmen till DW-planering samt både en teoretisk och empirisk belysning av DW-planeringens förutsättningar och egenskaper som planeringsmetod.

I avsnitt 3.3 relaterades studiens utformning i tre delar till de angivna riktlinjerna. Vidare beskrevs varje dels inriktning och uppläggning.

Del II

TEORETISK TILLÄMPNINGSANALYS

4. INTRODUKTION

4.1 Kapitelöversikt

I detta kapitel introduceras den teoretiska tillämpningsanalysen.

I avsnitt 4.2 anger vi och diskuterar tillämpningsanalysens syfte. Därefter diskuteras och motiveras analysens utformning i tre moment; DW-planeringens innebörd, planeringsproblemets formulering samt planeringsprocessens utformning och egenskaper.

4.2 Syfte och tillvägagångssätt

I denna del av studien söker vi skapa en generell teoretisk referensram för tillämpning av DW-algoritmen som ett planeringsinstrument. Vår intention med den följande analysen kan således formuleras:

> Syftet med tillämpningsanalysen är att fastställa DW-planeringens innebörd och teoretiska förutsättningar som planeringsmetod.

Till ovanstående syftesformulering kan fogas följande karakteristik vad avser analysens inriktning och avgränsning.

För det första strävar vi efter att ge analysen en allmängiltig prägel utan referens till något visst planeringsproblem. Denna vår generella ansats medför att vi kommer att ställa långt fler frågor än vi tillfredsställande besvarar.

För det andra utgår analysen konsekvent från DW-algoritmens tekniska egenskaper och funktionssätt. Under hela tillämpningsanalysen förutsätter vi att DW-planeringen i beräkningshänseende strikt följer algoritmens funktionssätt.

Vad gäller analysens utformning har vi valt att inleda denna med att från DW-algoritmen tolka DW-planeringens innebörd. Detta inledande analysmoment behandlar såväl problemformuleringens tolkningsutrymme som själva planeringsprocessens innebörd. Av framställningsmässiga skäl sker i detta moment endast en full-

ständig tolkning av den fas av planeringsprocessen som explicit specificeras av DW-algoritmen. De övriga faserna antyds endast för att i detalj utredas i det tredje analysmomentet nedan.

I det andra momentet av tillämpningsanalysen skärskådas de teoretiska förutsättningarna och begränsningarna för planeringsproblemets formulering. Härvid utgår vi dels från allmänna aspekter som val av beskrivningsnivå och avgränsning av problemet, men dels även från DW-algoritmens specifika formuleringskrav. Den sistnämnda utgångspunkten föranleder ett studium av kravet på blockanguläritet och linjäritet där dessa förutsättningar analyseras i tekniska och ekonomiska termer.

Det tredje momentet av tillämpningsanalysen avser planeringsprocessen. Här studeras dels egenskaper och funktionssätt hos DW-algoritmen som väsentligt kan påverka utfallet av DW-planeringen, dels de faser av planeringsprocessen vilka ej explicit definieras av algoritmen.

Ett betydelsefullt inslag härvidlag är analysen av den iterativa planeringsprocessens konvergensegenskaper, eftersom det torde vara väsentligt att uppnå tillfredsställande planbeslut inom ett rimligt antal iterationer. Av intresse är här att veta hur problemformuleringens egenskaper, olika startförfaranden samt olika modifieringar av den iterativa processen kan tänkas påverka planeringsprocessens konvergensegenskaper.

Vidare konstateras att det i rent beräkningstekniska sammanhang är vanligt att man låter den iterativa processen fortgå tills målfunktionen uppnått sitt maximala värde. Så är ej fallet vid DW-planering. Många skäl talar här istället för en trunkering, d v s ett avbrott, av den iterativa planeringsprocessen. Detta motiverar vårt särskilda studium av trunkeringproblemet.

Vi finner även att DW-algoritmen ej definierar slutmomentet i planeringsprocessen; hur själva planbeslutet skall fattas. När den iterativa processen avslutats genom CE:s ingripande kvarstår frågan under vilka former LE skall informeras om slutlösningen så att det avsedda planbeslutet kan realiseras. Av detta skäl ut-

för vi även en analys av olika beslutsformer för tillkomsten av det slutliga planbeslutet.

Till sist har vi även ansett det motiverat att komplettera analysen av planeringsprocessen med ett studium av möjligheterna att skapa incitament för de i planeringsprocessen deltagande lokala befattningshavarna att följa DW-planeringens regler. Incitamentsaspekten spänner emellertid över ett mycket vidsträckt problemområde, som i många avseenden faller utanför denna studies redovisade avgränsningar. Därför begränsar vi oss till en behandling av incitamentsaspekten strikt inom DW-planeringens ramar och därtill under vissa förenklande antaganden.

Denna del av framställningen avslutas med ett sammanfattande kapitel där erfarenheterna av tillämpningsanalysen summeras och diskuteras.

4.3 Sammanfattning

I avsnitt 4.2 angavs syftet med tillämpningsanalysen vara att tolka dess innebörd och teoretiska förutsättningar som planeringsinstrument. Efter några påpekanden rörande analysens inriktning och avgränsning följde en beskrivning och diskussion av dess utformning i tre moment. Inledningsvis sker en tolkning av DW-planeringens innebörd följd av en analys av de teoretiska förutsättningarna för planeringsproblemets formulering samt en studie av själva planeringsprocessens utformning och egenskaper.

5. DW-PLANERING

5.1 Kapitelöversikt

I detta kapitel vidareutvecklas den tidigare presenterade tolkningsidén gällande DW-algoritmen. Detta sker genom att det tolkningsutrymme som problemformuleringen och algoritmen lämnar specificeras.

Problemformuleringens tolkningsutrymme belyses i avsnitt 5.2. Detta sker genom att innebörden i problemformuleringens olika delar, målfunktion och gemensamma och lokala restriktioner diskuteras och exemplifieras. För restriktionernas del införes därvid en indelning i fyra olika restriktionstyper. Denna används dels vid nämnda exemplifiering och dels i senare avsnitt. Exemplifieringen av restriktionerna görs relativt omfattande. Detta sker med syftet att innebörden av de i DW-planeringen ingående reglerna klart skall framgå.

De delar av DW-planeringen som specificeras av DW-algoritmen uttolkas i avsnitt 5.3. Detta sker genom angivande av vad som därvid föreskrivs gällande fördelningen av den i problemformuleringen ingående informationen, informationsöverföringen mellan CE och respektive LE samt informationsbearbetningen inom respektive enhet. Därvid framkommer 12 alternativa tolkningsvarianter. Avsnittet avslutas med en genomgång av vilka tolkningsvarianter som angivits av andra författare.

5.2 Problemformuleringens tolkning

Med utgångspunkt från den tolkningsidé som presenterades i avsnitt 3.3 skall vi i detta avsnitt söka åskådliggöra det utrymme som kan anses föreligga vid tolkningen av problemformuleringen. De för problemformuleringen utmärkande egenskaperna blockangulärítet och linjäritet kommer att analyseras i avsnitten 6.3 och 6.4 vilket då kan ske mot bakgrund av de i detta kapitel framtagna tolkningarna.

Den tidigare presenterade tolkningsidén medför att problemformuleringen antas gälla valet av aktivitetsnivåer inom ett företag vilket antas organisatoriskt uppdelat i en CE och n st LE.

I problemformuleringen antas de n lokala restriktionsblocken återge de inom respektive LE gällande begränsningarna medan de sammanbindande restriktionerna återger de begränsande sambanden mellan enheterna.

Vi övergår så till tolkningen av variablerna och av problemformuleringens olika delar.

Variablerna

Vilka aktiviteter som utgör beslutsvariabler torde vara ytterst situationsspecifikt och de mest skiftande slag är här tänkbara. I det följande resonemanget utgår vi dock från att alla i problemformuleringen ingående aktiviteter kan klassas som tillhörande någon av följande tre kategorier:[1]

1 Köpa (internt eller externt)
2 Producera[2]
3 Flytta

Målfunktionen

De konsekvenser $c_1,\ldots,c_n$ som förknippas med aktiviteterna kan antingen motsvara enbart "intäkter" d v s sådana konsekvenser som med utgångspunkt från företagets målsättning är önskvärda eller enbart "kostnader", konsekvenser som på motsvarande sätt icke är önskvärda eller också av skillnaden mellan dessa. I det följande resonerar vi som om $c_1,\ldots,c_n$ motsvarar skillnaden mellan "intäkter" och "kostnader" och behandlar således enbart maximeringsproblem. Om målfunktionen $\sum_{j=1}^{n} c_j x_j$, önskas minimerad uppnås detta lätt genom teckenväxling.

Vad gäller vektorerna $c_1,\ldots,c_n$ bör framhållas att dessa icke skall innehålla "konsekvenser" härledda från de gemensamma restriktionerna. Detta sker automatiskt under iterationernas gång genom att dessa åsättes priser.

---

1) Denna indelning används inom annan linjär programmering. Se exempelvis Beale (1968, sid 80).

2) Här avseende produktion av både varor och tjänster av olika slag.

Restriktionerna

I problemformuleringen 3.1 tänktes samtliga restriktioner uttryckta med olikhetstecken av typen $\leq$, exempelvis $B_j x_j \leq b_j$.[1,2] Vi uttrycker även i det följande restriktionerna som olikheter d v s så kallade slackvariabler tillföres ej.
Däremot ansluter vi oss till konventionen att uttrycka restriktionerna så att högerledet alltid utgöres av en konstant större än eller lika med noll.[3] För att samtliga tänkbara restriktioner skall kunna skrivas med positivt högerled krävs dock att båda olikheterna, $\geq$ och $\leq$, tillåtes. I vårt följande resonemang utgår vi således från högerledet och frågar oss i vilken relation vänsterledet skall stå till detta. Skälet till att denna teckenkonvention införes är att den underlättar både den följande indelningen och tolkningen av restriktionerna.

Vi har valt att indela de på detta sätt uttryckta restriktionerna i fyra typer. Vid denna klassificering frångår vi av praktiska skäl våra tidigare beteckningar.[4] Antag att d st beslutsvariabler finns vars koefficienter är skilda från noll. Antag att dessa koefficienter betecknas med α om de är > 0 och med β om de är < 0. En godtycklig restriktion kan då skrivas som

$$\sum_{i=1}^{g} \beta_i x_i + \sum_{i=g+1}^{d} \alpha_i x_i \left\{\leq, \geq\right\} k \qquad 5.1$$

där $k \geq 0$ och g betecknar antalet koefficienter < 0.

Vi särskiljer först de restriktioner vars koefficienter i vänsterled genomgående har samma tecken respektive de som icke har

---

1) Restriktioner av typen vänsterled = högerled särbehandlas ej utan tänkes uttryckta genom kombination av två restriktioner skrivna som olikheter.

2) Alla tänkbara restriktioner kan genom teckenväxling överföras till denna form d v s vänsterled $\leq$ högerled. Se Hadley (1962, sid 72).

3) Se exempelvis Hadley (1962, sid 72).

4) Detta görs dels p g a att den tidigare använda uppdelningen av restriktionerna i block här är överflödig och dels p g a behov av att skilja mellan positiva och negativa koefficienter vilket icke förelegat i tidigare avsnitt. Efter klassificeringen återgår vi till de tidigare använda beteckningarna.

detta. Dessa två grupper indelas därefter beroende på om olikheten skrives $\geq k$ eller $\leq k$. Denna senare indelningsgrund bygger på den tidigare antagna konventionen att $k \geq 0$, såtillvida att om k tilläts anta negativa värden skulle olikhetstecknets riktning kunna skiftas genom teckenväxling. Detta är dock fortfarande möjligt när $k = 0$ vilket nedan behandlas som ett specialfall.

De restriktioner där vänsterledets koefficienter genomgående har samma tecken indelas enligt följande:

Typ 1

$$\sum_{i=1}^{d} \alpha_i x_i \leq k \qquad 5.2$$

(d v s g = 0)

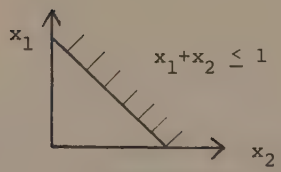


Fig. 6 Exempel på typ 1-restriktion

Typ 2

$$\sum_{i=1}^{d} \alpha_i x_i \geq k \qquad 5.3$$

(d v s g = 0)

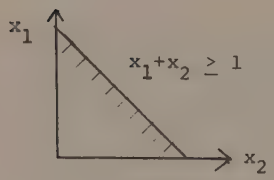


Fig. 7 Exempel på typ 2-restriktion

I denna indelning har varianterna $\sum_{i=1}^{g} \beta_i x_i \leq k$ och $\sum_{i=1}^{g} \beta_i x_i \geq k$ ej medtagits.

Existensen av de s k nollrestriktionerna medför att den förra av dessa, oavsett valet av variabelvärden, aldrig kan bli begränsande. Den senare restriktionen däremot kan aldrig vara uppfylld.[1]

Vi antar i det följande att dylika restriktioner icke tillförts problemformuleringen. Detsamma antas med utgångspunkt från samma motivering gälla de specialfall av restriktionstyperna 1 och 2 där k = 0..

Typ 1-restriktionerna kan således tolkas som sådana restriktioner vilka avser någon form av begränsande resurser vilka icke får överskridas medan typ 2-restriktionerna gäller någon form av krav som måste uppfyllas.

De restriktioner vars koefficient icke genomgående har samma tecken indelas enligt följande:

Typ 3

$$\sum_{i=1}^{g} \beta_i x_i + \sum_{i=g+1}^{d} \alpha_i x_i \leq k \qquad 5.4$$

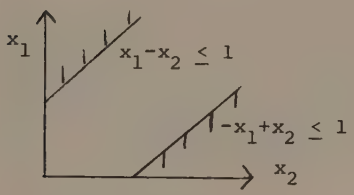


Fig. 8 Exempel på typ 3-restriktioner

Typ 4

$$\sum_{i=1}^{g} \beta_i x_i + \sum_{i=g+1}^{d} \alpha_i x_i \geq k \qquad 5.5$$

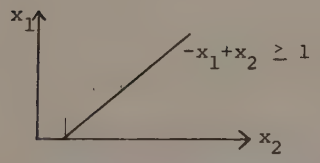


Fig. 9 Exempel på typ 4-restriktion

1) Dock undantaget det helt ointressanta fallet när $x_1 = 0$, $i = 1,\ldots,g$ och $k = 0$.

I denna indelning har samtliga varianter medtagits eftersom något skäl till uteslutningar, motsvarande de i anslutning till typerna 1 och 2 presenterade, ej föreligger.

Typ 3 och 4 kan således tolkas som sådana restriktioner där skillnaden mellan variablernas effekter skall vara mindre än respektive större än ett positivt tal. Något förenklat kan således typ 3-restriktionerna sägas innebära krav på viss "balans" d v s att skillnaden mellan de effekter som de två variabelgrupperna lämnar icke får vara för stor. Typ 4-restriktionerna kan på motsvarande sätt sägas innebära krav på viss "obalans" d v s att nämnda skillnad måste anta ett visst minsta värde.

Vad gäller specialfallet med restriktioner där k = 0 kan dessa icke entydigt klassas som typ 3 eller typ 4. Vi har dock valt att icke tillföra någon ytterligare indelningsgrund då detta icke menligt påverkar den kommande framställningen.

Som framgår kan restriktioner av typen vänsterled = högerled, om samtliga vänsterledets koefficienter har samma tecken, betraktas som specialfall av kombinationen av en typ 1 och en typ 2-restriktion där inget "lösningsutrymme" föreligger "mellan" dessa d v s den enda skillnaden är olikhetstecknets riktning. På motsvarande sätt kan dylika restriktioner om koefficienterna har olika tecken ses som specialfall av två typ 3 eller typ 4-restriktioner.

Gällande den av oss ovan införda indelningen av restriktionerna bör påpekas att ingen av de författare som refereras i denna framställning använt någon liknande indelning. Detta får ses mot bakgrund av att litteraturen på området, som tidigare påpekats, främst får sägas ha inriktats på tekniska utvecklingar av dekompositionsalgoritmen medan denna studie gäller tolkningen och egenskaperna av DW-planering. Indelningen av restriktionerna visar sig dels användbar i den följande exemplifieringen av problemformuleringens olika delar samt i avsnitt 7.4 där startfasen behandlas och dels i anslutning till fallstudierna och simuleringsexperimenten.

I tidigare avsnitt där samtliga restriktioner uttryckts med olikhetstecknet $\leq$ har gällt att $p^t \geq 0$. För de restriktioner

som nu uttryckes med omvänt olikhetstecken, $\geq$, gäller det omvända. Av tecknet på priset kan således avläsas om respektive LE skall betala ett positivt pris eller ett negativt pris (erhålla subvention) för tillskott till en restriktion.

Eftersom vi arbetar med fyra restriktionstyper kan ett godtyckligt block restriktioner (de gemensamma restriktionerna eller något av de n st lokala restriktionsblocken) alltid hänföras till någon av de 15 kombinationer som kan bildas av dessa restriktionstyper. Därvid beaktas ej den ordning i vilken restriktionerna står uppställda eller hur många restriktioner av varje typ som ingår, dock att varje block måste innehålla minst en restriktion. De tänkbara kombinationerna i ett godtyckligt block restriktioner framgår av nedanstående figur.[1]

Kombination nr:

förekommande restriktionstyper	1^2	2^1	3^2	4^1	5	6^2	7	8	9^1	10	11	12	13	14	15
	1				1	1	1				1	1	1		1
		2			2			2	2		2	2		2	2
			3			3		3		3	3		3	3	3
				4			4		4	4		4	4	4	4

Fig. 10 Tänkbara kombinationer av restriktionstyper.
1) Kan ej ge begränsade lösningsmängder (förklaras senare)
2) Ger alltid tillåten nollösning (" ")

Vad gäller de gemensamma restriktionerna är samtliga kombinationer tänkbara eftersom inga antaganden införts gällande detta blocks struktur. Som tidigare påpekats intar de gemensamma restriktionerna en särställning i problemformuleringen såtillvida att existensen av de där ingående beroendeförhållandena skapar behov av samordning och således utgör grunden för studiet av den aktuella planeringsprocessen. Ovanstående indelning av de gemensamma restriktionerna kan därför tolkas som en indelning gällande samordningsproblemets karaktär.

I avsnitt 3.2 infördes ett antagande om att de mot de lokala restriktionerna svarande lösningsmängderna S_j, $j=1,\ldots,n$, skall vara begränsade. Om ett sådant block innehåller endast en typ av restriktioner kan, med utgångspunkt ifrån de givna definitionerna, följande påståenden inses gälla.

---

1) De s k nollrestriktionerna antas gälla.

Typ 1 Nödvändigt och tillräckligt villkor för att lösningsmängden skall vara begränsad är att varje beslutsvariabel ingår i minst en restriktion med koefficient skild från noll.

Typ 2 Lösningsmängden kan ej vara begränsad.

Typ 3 Nödvändigt villkor för att lösningsmängden skall vara begränsad är att varje variabel i minst en restriktion ingår med en koefficient > 0.

Typ 4 Lösningsmängden kan ej vara begränsad.[1]

Dessa påståenden kan användas som utgångspunkt för att avgöra huruvida en viss kombination ger en begränsad lösningsmängd. De i fig. 10 upptagna kombinationerna nr 2,4,9 inses ej kunna ge begränsade lösningsmängder varför dessa är uteslutna i de lokala restriktionsblocken.

Ett enkelt sätt att försäkra sig om att lösningsmängderna S_j, $j=1,\ldots,n$, blir begränsade är att till varje restriktionsblock lägga en typ 1-restriktion som innehåller alla variabler och vars element i vektorerna b_j, $j=1,\ldots,n$, är ett mycket stort tal. Om så sker för att garantera att de ovan uteslutna kombinationerna 2,4 och 9 skall bli begränsade bör dessa betraktas som motsvarande kombinationerna 5,7 och 12 vilka ej uteslutits.

Förekomsten av de olika restriktionstyperna påverkar även i vad mån nollösningen, d v s $x_j = 0$,$j=1,\ldots,n$, ingår i lösningsmängden. Detta påverkar framställningen bl a i avsnitt 7.4 där framtagandet av en tillåten startlösning behandlas och vi konstaterar redan nu följande:

Endast typ 1 eller typ 3 restriktioner föreligger: Nollösningen är alltid tillåten.

Endast typ 2 eller typ 4 restriktioner föreligger: Nollösningen är ej tillåten (förutsatt att $k \neq 0$).

I fig.10 har de kombinationer som alltid ger tillåten nollösning markerats.

---

1) Undantaget specialfallet med nollösningen som enda tillåtna lösningspunkt.

Som framgår kan de ovan angivna fyra restriktionstyperna förekomma såväl i de gemensamma som i de lokala restriktionerna. I syfte att belysa tolkningsutrymmet i restriktionerna skall vi nedan exemplifiera dessa i ovan nämnd ordning.

De gemensamma restriktionerna avser beslutsvariabler från fler än en LE och återspeglar således de beroendeförhållanden som finns mellan de olika LE:s handlingsutrymme. Dylika beroendeförhållanden kan för det första uppstå i anslutning till de utbyten av varor och tjänster samt kapital som under en period äger rum mellan företaget och dess omgivning.

Exempel:

Typ 1-restriktioner[1]

- Restriktioner avseende förhållandet att endast viss mängd av råmaterial, halvfabrikat, arbetskraft etc kan köpas till visst pris.
- Restriktioner avseende begränsade inlåningsmöjligheter.
- Restriktioner avseende begränsade försäljningsmöjligheter på företagets varor/tjänster. Detta kan gälla maximigränser såväl på enskilda varor/tjänster som på ett antal supplementära varor/tjänster.

Typ 2-restriktioner

- Restriktioner avseende lägsta inköpsvolym av halvfabrikat, råmaterial etc. Dylika restriktioner kan uppstå p g a avtal, hänsyn till någon företaget närstående leverantör etc.
- Restriktioner avseende minimigränser på försäljningsvolymen vilka uppställts p g a leveransavtal, kundhänsyn etc.

Typ 3-restriktioner

- Restriktioner avseende viss form av efterfrågeberoende mellan olika varor/tjänster. En kombination av två stycken typ 3-restriktioner,enligt exemplet vid definitionen av typ 3, kan uttrycka efterfrågeberoende mellan komplementära varor/tjänster d v s att försålda mängden av en vara/tjänst ej kan tillåtas avvika för starkt ifrån den försålda mängden av en annan vara.

Typ 4-restriktioner

- Restriktioner avseende att företaget icke vill bli för starkt beroende av en viss produkt och därmed endast tillåter tillverkning och försäljning av denna när andra produkter nått viss nivå.

---

1) De givna exemplen är så allmänt beskrivna att de även kan tänkas tillhöra andra typer av restriktioner.

För det andra kan dylika beroendeförhållanden uppstå i anslutning till de rådande interna produktionsförhållandena.

Exempel:

Typ 1-restriktioner

- Restriktioner avseende begränsad kapacitet av olika slag (maskiner, centrala serviceenheter etc) vilka används av fler än en LE.

Typ 2-restriktioner

- Restriktioner avseende den rent tekniskt lägsta möjliga produktionsnivån. Dylika restriktioner kan exempelvis vara aktuella för ugnar, reaktorer etc.

Typ 3-restriktioner

- Restriktioner avseende internleveranser av olika slag. Ex: En LE tillverkar en viss mängd halvfabrikat, x_1, vilken antingen kan läggas på lager eller förbrukas till viss mängd, x_2, av en annan LE. Detta lager får ej överskrida viss nivå. Ex: $x_1 - x_2 \leq 10$.

Typ 4-restriktioner

- Restriktioner avseende internleveranser av olika slag. Ex: I exemplet ovan kan man för en viss period kräva att lagret skall minskas med en viss minsta mängd.

I ovanstående exemplifiering har restriktioner avseende externa och interna förhållanden hållits isär. Restriktionerna kan dock mycket väl samtidigt avse såväl externa som interna förhållanden.

I det ovan givna exemplet gällande internleveranser kan exempelvis föreligga en möjlighet att även köpa den aktuella varan/tjänsten utanför företaget.

Vilka beroendeförhållanden som existerar mellan de olika LE torde vara ytterst situationsspecifikt. Förutom ovanstående exempel är de mest skiftande slag av restriktioner tänkbara.

Exempel: - Det gemensamma handlingsutrymmet kan begränsas av krav gällande såväl den interna arbetsmiljön som företagets miljöpåverkan på omgivningen. Detta kan gälla buller, avfall etc.

- LE kan vid val av värden på sina respektive beslutsvariabler söka att även beakta beroendeförhållanden av "psykologisk" art.[1]
  Ex: LE kan av prestigeskäl tendera att välja produktionsprogram som är lika/mer differentierat, har lika/högre kvalitet etc som övriga LE:s.

De lokala restriktionerna kan även de indelas i typerna 1 - 4. Vad gäller exemplifieringen av dessa kan hänvisas till samtliga exempel under de gemensamma restriktionerna. Enda skillnaden blir att de "beroendeförhållanden" som där exemplifieras här får tolkas som gällande mellan endast en LE:s beslutsvariabler. I exemplen om internleveranser blir således termen "internleverans"mindre lämplig eftersom transaktionerna av varorna/tjänsterna i denna tolkning tänkes ske inom en LE.

De ovan givna exemplen gällande restriktionerna är av vitt skilda slag. Vi konstaterar att frågan huruvida ett visst verkligt fenomen går att inordna i problemformuleringen är av rent teknisk art och avgörs av om fenomenet ifråga,med behållande av tillräckligt stor noggrannhet,går att uttrycka som något av de linjära uttryck som ingår i problemformuleringen.

Möjligheterna att inordna fenomen av vitt skilda slag i den blockangulära problemformuleringen har på intet sätt betonats av upphovsmännen till DW-planeringen och ej heller av de författare som på olika sätt vidareutvecklat denna. De gemensamma restriktionerna avses vanligen ge uttryck för ett antal gemensamma resurser vilka skall fördelas mellan de olika enheterna.[2] Vissa författare behandlar dock restriktioner av annat slag, främst då restriktioner med en eller flera negativa koefficienter vilka i de flesta fall avses ge uttryck för någon form av internleverans.[3]

---

1) Ruefli, (1969, 1971 A och särskilt 1971 B) har i samband med utarbetandet av sin s k GGD-modell diskuterat möjligheten att i LE-restriktionerna medta denna typ av beroendeförhållanden. (GGD-modellen beskrives kortfattat i Ljung & Selmer, 1972, sid 45-48).

2) Se exempelvis Baumol & Fabian (1964), Dantzig (1963, kap 23), Dantzig & Wolfe (1960 och 1961), Jennergren (1971) och Lasdon (1970).

3) Se exempelvis Carleton, Kendall & Tandon (1972), Freeland & Baker (1972), Hass (1968), Kutcher (1973), Nygreen (1973) och Ross (1969).

5.3 DW-algoritmens tolkning

Vi skall i detta avsnitt framta de tolkningsmöjligheter som föreligger gällande DW-algoritmen. Den planeringsprocess som därvid framkommer indelar vi i tre faser nämligen startfas, iterationsfas och beslutsfas. Se fig. 11.

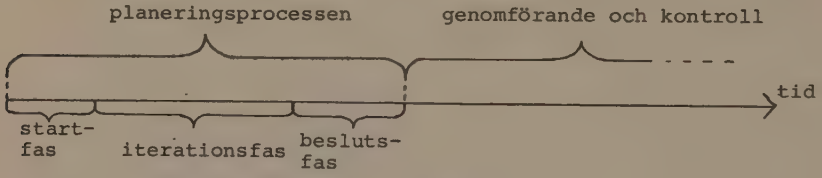


Fig. 11 DW-planeringens tre faser

Med startfas avses den tidsperiod under vilken en tillåten startlösning med tillhörande dualpriser framtas. Startfasen motsvarar alltså steget 0 i fig.3,avsnitt 2.2. Med iterationsfas avses den tidsperiod under vilken det egentliga iterativa förfarandet äger rum d v s från det att en första uppsättning dualpriser erhållna från en tillåten lösning framkommit till dess att processen av en eller annan anledning avbryts. Processen antas avbrytas efter lösandet av masterproblemet. Iterationsfasen motsvarar alltså ett antal utföranden av stegen 1 - 5 i fig.3. Med beslutsfasen avses tidsperioden från det att den iterativa processen avbrutits till dess att de olika LE fattat sina respektive planbeslut. Inplacerad i fig.3 skulle denna fas kunna sägas motsvara steget 6.

Någon särskild datainsamlingsfas har icke medtagits. Detta motiveras av att datainsamlingen kan tänkas ske i den takt som data krävs för utförande av start- och iterationsfasen och således pågå parallellt med dessa.

Vad gäller utformningen av startfasen, d v s framtagandet av en tillåten startlösning med tillhörande dualpriser, påpekades redan i avsnitt 2.2 att denna icke direkt kan uttolkas ur DW-algoritmen. I avsnitt 7.4 undersöks närmare möjligheterna att utforma en startfas som står i överensstämmelse med den övriga tolkningen. Utformningen av iterationsfasen kan däremot relativt väl uttolkas och vi skall i detta avsnitt framta

de tolkningsmöjligheter som därvid föreligger. Vad slutligen gäller beslutsfasen står det klart att förekomsten av en dylik är en följd av den valda tolkningen. Lösandet av samordningsproblemet kräver förutom att planer framkommer att respektive organisatorisk enhet får kännedom om och väljer dessa. Vi betraktar därför syftet med start- och iterationsfasen som att framta information med vilken CE under beslutsfasen kan leda de organisatoriska enheterna mot avsedda planbeslut. Vi skall i kapitel 9 närmare undersöka möjligheterna att utforma en beslutsfas som står i överensstämmelse med den övriga tolkningen.

Att DW-algoritmen icke fullständigt specificerar ett planeringsförfarande i en decentraliserad organisation får betraktas som naturligt mot bakgrund av att denna algoritm ursprungligen konstruerats för lösandet av stora LP-problem. Vid tolkningen av DW-planeringen tillkommer andra förutsättningar och kravdimensioner än de mot vilka DW-algoritmen ursprungligen konstruerats. Framförallt medför det förhållandet att informationsbearbetningen förutsätts fördelad på olika administrativa enheter att start- och beslutsfas måste förändras och kompletteras. Iterationsfasen specificeras dock relativt väl och vi övergår till tolkningen av denna.

Enligt den tolkningsidé som tidigare redovisats löses subproblemen av respektive LE medan masterproblemet löses av CE. Eftersom information om B_j och b_j, $j=1,\ldots,n$, endast krävs vid lösandet av subproblemen knyts denna till respektive LE. På motsvarande sätt knyts informationen gällande vektorn a till CE. Fördelningen av den övriga informationen, d v s A_j och c_j, $j=1,\ldots,n$, blir däremot beroende av hur den iterativa processen uttolkas. Möjlighet till alternativa tolkningar uppstår p g a att det i varje iteration nödvändiga överförandet av p^t till subproblemen samt a_{jt} och c_{jt} till masterproblemet kan tänkas ske på olika sätt.

Vi betraktar först möjligheten till alternativa överföringar av p^t. Därvid inför vi följande nya beteckningar:

$$c_j^{rt} = c_j - p^t A_j \qquad j = 1,\ldots,n \text{ (en 1 x } n_j \text{ radvektor)}$$

Benämnes reviderade målvektorer.

$$c_j^{at} = p^t A_j \quad j = 1,\ldots,n \text{ (en 1 x } n_j \text{ radvektor)}$$

Benämnes målrevideringsvektor.

De tidigare använda c_j, j=1,...,n benämnes ursprungliga målvektorer. Således gäller sambandet $c_j^{rt} = c_j - c_j^{at}$. Eftersom dualpriserna p^t vid lösandet av subproblemen ingår i c_j^{rt} d v s i uttrycket $(c_j - p^t A_j)$ kan överföringen av p^t till respektive LE tänkas ske på tre olika sätt nämligen:

1. CE beräknar och översänder reviderade målvektorer, c_j^{rt}, till respektive LE.
2. CE beräknar och översänder målrevideringsvektorer, c_j^{at}, till respektive LE.
3. CE översänder p^t till de olika LE.

Det i varje iteration nödvändiga överförandet av a_{jt} och c_{jt} till masterproblemet kan tänkas ske på fyra olika sätt,nämligen så att respektive LE beräknar och översänder

1. x_{jt} (varvid a_{jt} och c_{jt} beräknas av CE)
2. x_{jt} och a_{jt} (varvid c_{jt} beräknas av CE)
3. x_{jt} och c_{jt} (varvid a_{jt} beräknas av CE)
4. a_{jt} och c_{jt}

Dessa 3 respektive 4 möjligheter ger i princip upphov till 3 · 4 = 12 olika tolkningsvarianter. Samtliga dessa 12 tolkningsvarianter återges i fig. 61 i bilaga 2. För varje tolkningsvariant anges dels vilken information som CE och respektive LE måste ha tillgång till för att utföra de nödvändiga beräkningarna,dels vilken information som måste utbytas mellan CE och respektive LE samt dels vilken informationsbearbetning som CE och respektive LE måste utföra förutom själva lösandet av master- och subproblemen. Där framgår att samtliga tolkningsvarianter, förutom 1, 7 och 12, för sitt utförande kräver att informationen om A_j och/eller c_j, j=1,...,n skall finnas tillgänglig hos både CE och respektive LE. Detta flertal tolkningsvarianter kan hävdas avvika i endast ringa grad från någon av tolkningsvarianterna 1, 7 och 12 och vi inriktar därför den följande framställningen mot dessa. Dessa tre tolkningsvarianter vilka i det följande benämnes A, B respektive C återges i de nedanstående figurerna.

Tolkning A

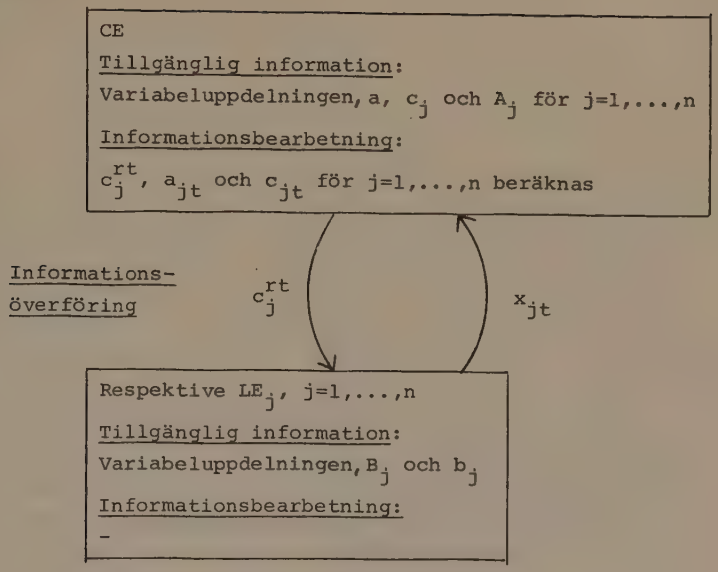


Fig. 12 DW-planering: tolkning A

Tolkning B

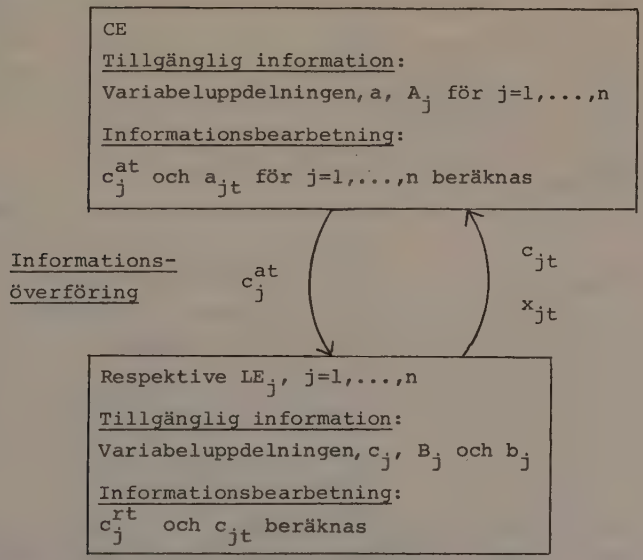


Fig. 13 DW-planering: tolkning B

Tolkning C

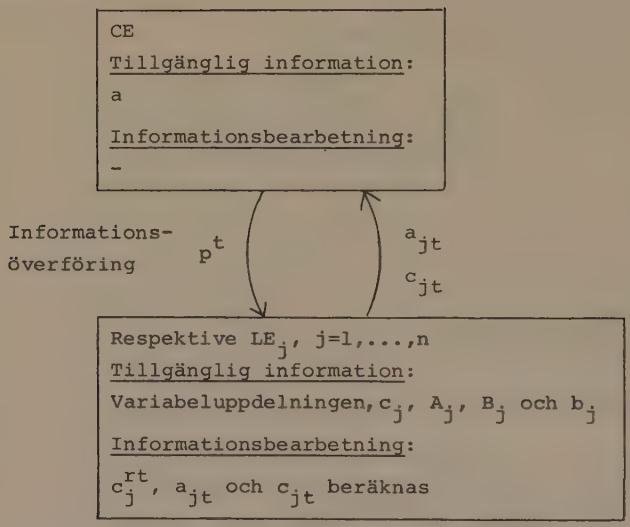


Fig. 14 DW-planering: tolkning C

En fullständig uttolkning av innebörden i DW-planeringen enligt dessa tre tolkningsvarianter torde, mot bakgrund av den exemplifiering som tidigare skett av de i problemformuleringen ingående storheterna, ej vara nödvändig i denna framställning. Vi väljer att endast med utgångspunkt från ett enkelt exempel kortfattat belysa de tre tolkningsvarianterna. Antag att

x_j, j=1,...,n	motsvarar tillverkad och försåld mängd av ett antal varor och att dessa uppdelats på n st LE.
c_j, j=1,...,n	motsvarar täckningsbidragen per enhet av dessa varor.
De gemensamma restriktionerna	är samtliga av typ 1 och motsvarar vissa begränsade resurser exempelvis råmaterial som skall fördelas mellan de olika LE.
De lokala restriktionerna	motsvarar de i de lokala enheternas produktionsprocess gällande begränsningarna.

Enligt DW-planering tolkning A beräknar CE i varje iteration nya bidragssiffror genom att från de ursprungliga göra avdrag för respektive produkts förbrukning av de gemensamma resurserna där dessa värderas till de sist framtagna dualpriserna. Efter lösandet av subproblemen meddelar respektive LE till CE det produktionsprogram som erhållits. Vid tolkning B däremot översänder CE de ovan nämnda avdragen vilka skall dras från respektive produkts bidrag vilket verkställes av respektive LE. Efter lösandet av subproblemen meddelar respektive LE till CE det produktionsprogram som därvid erhållits samt vilket totalt bidrag detta ger. Vid tolkning C översänder CE endast dualpriserna till de olika LE vilka ombesörjer revideringen av bidragssiffrorna. Efter lösandet av subproblemen meddelar respektive LE det resursbehov samt totala bidrag som det därvid erhållna produktionsprogrammet ger.

Med utgångspunkt ifrån exemplifieringen av de fyra restriktionstyperna och de 15 tänkbara kombinationerna av dessa skulle en lång rad dylika exempel kunna konstrueras. Vi avstår dock ifrån detta då dessa tolkningsmöjligheter förhoppningsvis ter sig uppenbara.

Tolkningarna A, B och C kan hävdas vara inordnade efter en skala där tolkning A och C utgör extremfallen. I tolkning A har allt beräkningsarbete, vilket kan utföras antingen av CE eller respektive LE överförts till CE. Detta medför vad gäller fördelningen av information att den del av denna som kan tilldelas antingen CE eller respektive LE (d v s A_j och $c_j, j=1,\ldots,n$) tilldelats CE samt vad gäller informationsöverföringen att CE översänder så "färdigbearbetade" data som möjligt medan det omvända gäller för respektive LE. I tolkning C däremot har så stor del som möjligt av beräkningsarbetet förts över till respektive LE med motsvarande konsekvenser för informationsfördelning och överföring.

Med utgångspunkt från ovanstående står klart att om man väljer att betrakta en planeringsprocess som mer decentraliserad än en annan om lägre nivåer kan sägas ha större del i planeringsprocessen i den förra än i den senare kan tolkning A hävdas ge

uttryck för mindre grad av decentralisering än tolkning C. Vid tolkning C krävs, förutom vecktorn a, i princip ej att CE har någon kännedom om planeringsproblemet, alltså ej heller gällande antalet eller innebörden i de mot aktivitetsnivåerna svarande beslutsvariablerna. CE har här endast att med utgångspunkt från måluppfyllelse och effekt på vektorn a väga från LE inkomna förslag mot varandra samt meddela därvid framkomna dualpriser. I tolkning C väger således CE alternativa planer mot varandra utan att ha kännedom om vad dessa innebär i termer av aktivitetsnivåer. Detta medför att tolkning C i princip innebär att CE endast får kännedom om slutlig fördelning av vektorn a. Tolkning A däremot leder fram till att CE får kännedom om slutliga produktionsplaner.

Vi skall något beröra vilka tolkningar som behandlats av andra författare. De författare som behandlat DW-planering (den ursprungliga linjära varianten)[1] indelar vi m.a.p. tolkningen i tre grupper.

Den första och kanske största gruppen utgörs därvid av de författare som icke exakt anger någon tolkning.[2] De flesta anger att "priser" skall översändas till respektive LE och att dessa skall återsända "förslag". Exakt vilken informationsöverföring som krävs framgår dock ej. Av framställningarna i övrigt att döma verkar dock de flesta av dessa författare resonera som om man utgår från tolkning A, d v s den mest centraliserade tolkningsvarianten.

Den andra gruppen utgörs av de författare som anger en informationsöverföring och fördelning som exakt motsvarar tolkning A.[3] Här återfinns den år 1964 av Baumol & Fabian presenterade

---

1) Bland författare som behandlat sådana kvadratiska dekompositionsmetoder där styrningen av subproblemen sker via priser kan nämnas Hass (1968), Malinvaud (1967) och Whinston (1962, kap 6, 1964 och 1966 B) vilka synes ha valt tolkningar motsvarande tolkning A.

2) Se t ex Dantzig & Wolfe (1958 och 1961), Kutcher (1973), Nygreen (1973), Rasmussen (1971) och Wolfe & Dantzig (1960).

3) Se t ex Baumol & Fabian (1964), Beale (1968, kap 16), Kornai (1967, sid 381) och Lasdon (1970, kap 3).

artikeln. Detta torde starkt ha påverkat debatten gällande DW-planeringens praktiska tillämpning eftersom Baumol & Fabians artikel torde vara den mest kända och oftast citerade.

Den tredje gruppen slutligen utgörs av de författare som anger en informationsöverföring och fördelning som exakt motsvarar tolkning C.[1] Möjligheten till denna tolkning, vilken som framgått kan sägas motsvara större grad av decentralisering, verkar dock icke ha uppmärksammats i någon större utsträckning i den tidiga debatten gällande användningen av DW-planeringen.

Vi konstaterar således att endast de två tolkningsmöjligheterna A och C d v s ytterlighetsfallen synes ha behandlats av andra författare. Vi har ej heller kunnat spåra något tidigare försök till systematisk analys av det tolkningsutrymme som DW-algoritmen lämnar.

5.4 Sammanfattning

I avsnitt 5.2 diskuterades och gavs exempel på innebörden i problemformuleringens olika delar. Därvid kunde exempel ges på vitt skilda slag av variabler och restriktioner. Vid behandlingen av restriktionerna framtogs en indelning av dessa i fyra olika typer. Denna indelning visade sig användbar vid nämnda exemplifiering och kommer vidare att användas i den följande framställningen.

I avsnitt 5.3 uttolkades DW-planeringen relativt fullständigt. Därvid framkom 12 tolkningsvarianter varav tre, vilka benämndes A, B och C, bedömdes som särskilt intressanta. Dessa tolkningsvarianter beskrevs utförligt och vi konstaterade att tolkning C kunde betraktas som medförande den högsta graden av decentralisering. Avslutningsvis konstaterades att endast tolkningarna A och C behandlats av andra författare och att ingen sökt visa det tolkningsutrymme som DW-algoritmen lämnar.

---

1) Se t ex Almon (1963), Carlton, Kendall & Tandon (1972), Freeland & Baker (1972), Jennergren (1971, kap II), Kim (1971 kap 10) och Ross (1969).

6. PLANERINGSPROBLEMETS FORMULERING

6.1 Kapitelöversikt

I detta kapitel berörs olika problemställningar vilka kan förväntas bli aktualiserade vid formuleringen av planeringsproblemet. Särskilt behandlas problemställningar i anslutning till antaganden om linjäritet och blockangulärítet.

I avsnitt 6.2 berörs allmänna frågeställningar i anslutning till planeringsproblemets formulering. Bl a berörs valet av lämplig avgränsning samt valet av lämplig beskrivningsnivå.

I avsnitt 6.3 analyseras innebörden i linjäritetsantagandet. Därvid berörs inledningsvis antagandet om kontinuerliga variabler. Innebörden i linjäritetsantagandet analyseras genom att de för linjäritet nödvändiga kraven kontinuitet och separabilitet först analyseras. Efter definition och tolkning i ekonomiska termer av dessa begrepp anges några tekniker som kan vara användbara vid försök att genom omformulering eller approximation överföra funktionsuttryck som ej uppfyller nämnda krav till sådana som gör detta. Därefter behandlas på motsvarande sätt de krav som utöver ovanstående tillkommer för att en funktion skall kunna karakteriseras som linjär.

I avsnitt 6.4 analyseras innebörden i antagandet om att problemformuleringen skall vara av s k blockangulär struktur. Därvid anges två tillvägagångssätt som kan vara användbara vid försök att beskriva och analysera strukturen i en problemformulering, nämligen dels användandet av s k Booleska matriser och dels användandet av grafteori. Vidare diskuteras kriterier för att avgöra vilken av ett antal blockangulära formuleringar som är den lämpligaste samt även tekniker för att finna den enligt ett visst kriterium lämpligaste blockangulära formuleringen.

6.2 Allmänt

Som framgått utgår vi ifrån en linjär problemformulering med s k blockangulär struktur. I detta kapitel berörs några problemställningar vilka kan förväntas bli aktualiserade vid försök att inordna verkliga planeringsproblem i en problemformulering med nämnda egenskaper.

Innan de för problemformuleringen utmärkande egenskaperna linjäritet och blockangulär itet studeras skall vi kortfattat fästa uppmärksamheten på några allmänna problemställningar i detta sammanhang.

Rent allmänt kan framhållas att användandet av den form av kvantitativ analys som tillämpandet av denna form av matematisk programmering innebär kan resa krav på relativt god strukturerbarhet, mätbarhet etc. Beale gör följande uttalande:

> "... about when to use mathematical programming. In most operational research work one has implicity or explicity to make a mathematical model that represents the essential features of the real problem while simplifying other features. Mathematical programming is appropriate if these essential features are inequality constraints on the levels of activities that have to be chosen to give the best possible results in some precisely defined sense." (Beale, 1968, sid 77)

Han framhåller vidare att lämpligaste sättet att framta denna matematiska modell är att utgå från restriktionerna och fortsätter

> "... if one cannot capture the essence of the problem in this way, then mathematical programming is not going to help". (Beale, 1968, sid 77)

Möjligheterna att utnyttja erfarenheter från annat modellbyggande (exempelvis användandet av olika linjärprogrammeringsmodeller) torde dock vara ytterst begränsade då det här icke gäller att formulera och lösa en matematisk programmeringsmodell utan att studera en ny planeringsprocess. Problemet gäller således icke att söka skaffa en så korrekt bild som möjligt av en viss organisation utan att genom ömsesidiga anpassningar mellan modell och organisation söka skapa en så väl fungerande planeringsprocess som möjligt. Vissa möjligheter att anpassa DW-planeringen har framkommit genom att olika tolkningsmöjligheter av DW-algoritmen angivits. Vad gäller anpassningen av organisationen står det klart att införandet av en ny planeringsprocess, vilken kan karaktäriseras som baserad på matematisk programmering,kan medföra krav på mycket genomgripande förändringar i organisationen. Vi skall här icke spekulera i dessa förändringar utan konstaterar endast att denna framställning syftar till att klarlägga vissa konsekvenser som tillämpandet av DW-planeringen medför.

Vid formuleringen av planeringsproblemet aktualiseras ett antal problemställningar.[1] Bland annat måste den problemsituation som avses inordnas i problemformuleringen avgränsas d v s man måste avgöra vilka fenomen som skall respektive icke skall medtas i DW-planeringen. Här är vår uppfattning att kunskaper om problemformuleringens blockangulära struktur samt DW-planeringens funktionssätt bör kunna ge god ledning. I stället för att först söka fastställa vilka beslutsvariabler och restriktioner som skall ingå i formuleringen torde det vara lämpligare att utgå ifrån frågeställningen om vilka administrativa enheter (redan befintliga eller nya) som skall ingå i modellen och sedan söka klargöra vilka aktiviteter i dessa som skall medtas. En självklar utgångspunkt blir därvid det sätt på vilket det planeringsproblem,som avses inordnas i DW-planeringen, tidigare lösts. Detta gäller såväl den tidigare använda administrativa uppdelningen som tidigare använd form av planering. Vid avgränsningen av problemet intar självfallet de samband som existerar mellan de administrativa enheterna en särställning då de utgör grunden för att samordning av planeringen överhuvudtaget krävs. Att dessa samband är ekonomiskt betydelsefulla samt går att på ett meningsfullt sätt avgränsa till endast de medtagna administrativa enheterna torde få betraktas som en förutsättning för att DW-planeringen skall kunna utgöra ett attraktivt alternativ. Vad gäller avgränsningen kan även påpekas att denna lämpligen görs med tanke på att utnyttja DW-planeringens relativa fördelar. Exempelvis har tidigare påpekats att modellen i egenskap av en kvantitativ sådan förmodligen lämpar sig bäst för relativt väl strukturerbara problemsituationer.

Efter det att problemsituationen avgränsats kan en beskrivning upprättas över densamma. Denna beskrivning behöver till en början självfallet icke vara uttryckt i programmeringstermer d v s icke vara uttryckt i variabler och restriktioner. En dylik beskrivning kan alltid hävdas innehålla förenklingar av de fenomen som den avses avbilda d v s alltid innehålla avbildningar av karaktären många till en. Med beskrivningsnivå

1) För standardverk som berör problem i anslutning till modellbyggande se exempelvis Ackoff (1962), Ackoff & Sasieni (1968), Beer (1966) och Forrester (1961).

avser vi hur stark denna förenkling görs. Vid framtagandet av nämnda beskrivning kan det mycket väl vara motiverat att till en början arbeta med ett antal olika beskrivningsnivåer för att sedan med utgångspunkt från dessa kunna avgöra vilken beskrivningsnivå som skall väljas i problemformuleringen. Valet av lämplig beskrivningsnivå i problemformuleringen bör givetvis ske med utgångspunkt från de konsekvenser som olika beskrivningsnivåer medför vid tillämpandet av DW-planering. En låg beskrivningsnivå medför självfallet vissa fördelar p g a ökad "exakthet" i formuleringen men ger samtidigt vissa nackdelar till följd av att formuleringens storlek (exempelvis mätt i antal variabler och restriktioner) och komplexitet ökar. Dessa nackdelar kan exempelvis bestå av ökat databehov, ökat beräkningsarbete hos CE och LE vid varje iteration, ökad informationsöverföring mellan CE och LE i varje iteration, ökat antal iterationer p g a långsammare konvergens hos algoritmen etc.

Vid valet av beskrivningsnivå i problemformuleringen kan det mycket väl visa sig fördelaktigt att använda olika beskrivningsnivåer inom olika delar av problemformuleringen och inom olika faser av DW-planeringen. Detta kan exempelvis innebära att en högre beskrivningsnivå används under iterationsfasen än under beslutsfasen. De planförslag som respektive LE tar fram under beslutsfasen skall gälla under den kommande perioden och dessa kan mycket väl ges större detaljrikedom, större exakthet etc. än de tentativa planförslag som under iterationsfasen översänds till CE.

I de närmast följande avsnitten behandlas två för de ovan berörda frågeställningarna centrala egenskaper hos problemformuleringen nämligen linjäriteten och blockangulariteten.

6.3 Linjäriteten

Frågeställningen huruvida ett visst verkligt fenomen med rimlig noggrannhet går att inkorporera i den linjära problemformuleringen är intimt förknippad med de ovan berörda frågeställningarna om valet av lämplig avgränsning och beskrivningsnivå. Exempelvis kan ett fenomen som på hög beskrivningsnivå icke med rimlig noggrannhet låter sig uttryckas linjärt mycket väl gå att inordna i linjära uttryck om beskrivningsnivån sänks. Vi skall dock i detta avsnitt analysera innebörden i linjäritetsantagandet isolerat från dylika frågeställningar.

I problemformuleringen har såväl målfunktionen som restriktionernas vänsterled antagits utgöra linjära funktioner av beslutsvariablerna. Beslutsvariablerna har antagits kontinuerligt varierbara.

Innan vi närmare analyserar antagandet om linjäritet vill vi här påpeka att vi i princip betraktar antagandet om kontinuerligt varierbara variabler som ouppfyllbart. Detta antagande implicerar krav på perfekt delbarhet och ingen aktivitet borde rimligen kunna uppdelas i godtyckligt små element. Frågeställningen gäller dock snarare huruvida den aktivitetsnivå som beslutsvariabeln avses representera med behållande av vad som i det specifika fallet kan hävdas vara tillräcklig noggrannhet kan betraktas som perfekt delbar. Härvid blir storleken (i ekonomisk mening) av de icke delbara elementen i aktivitetsnivån av central betydelse. Jämför exempelvis å ena sidan produktion i mass- och processindustri och å andra sidan genomförandet av större projekt, investeringsprogram etc.[1] Här bör dock påpekas att lösningen i vissa problemtyper kan tendera att innehålla endast ett fåtal variabler skilda från sina extremvärden vilket minskar nackdelarna av att betrakta en beslutsvariabel som perfekt delbar även när så uppenbarligen icke är fallet. Antag exempelvis att DW-planeringen används för fördelning av en viss mängd kapital mellan olika LE. Antag vidare att det inom varje LE föreligger

---

1) Se Wagner (1972, sid 446) för exempel på problemtyper där antagande om kontinuerliga variabler är mindre lämpligt.

ett antal investeringsalternativ, att internräntan används som lönsamhetskriterium samt att alternativen kan betraktas som oberoende av varandra. Uppenbarligen är de i denna problemsituation förekommande variablerna av s k 0-1 karaktär. Antag dock att variablerna betraktas som kontinuerligt varierbara i intervallet fr o m 0 t o m 1 och att kapitalet antas sakna alternativutnyttjandevärde. Eftersom problemformuleringen endast innehåller en restriktion inses att optimallösningen här endast kan innehålla en variabel med värde mellan 0 och 1 och att övriga variabler erhåller värdet 0 eller 1. I vissa situationer, exempelvis vid ett stort antal investeringsalternativ i optimallösningen, torde en dylik lösning kunna tjäna som en god approximation till lösning av det ursprungliga problemet.[1]

Vad gäller restriktionernas högerled bör observeras att även dessa antas vara perfekt delbara. Högerleden i de gemensamma restriktionerna skall kunna fördelas godtyckligt mellan olika LE och därefter (i likhet med högerleden i de lokala restriktionerna) kunna fördelas godtyckligt mellan olika aktiviteter.

Vi övergår så till analys av linjäritetsantagandet. Vi konstaterar först att linjäritet hos nämnda funktioner medför såväl kontinuitet som separabilitet men att kontinuitet respektive separabilitet ej säkert medför linjäritet.[2,3] Egenskaperna kontinuitet och separabilitet kan således var för sig betraktas som nödvändiga men ej tillräckliga villkor för linjäritet. I det följande har vi valt att först analysera innebörden i dessa krav på kontinuitet och separabilitet var för sig. Denna analys sker mot bakgrund av den tidigare genomförda tolkningen och exemplifieringen av problemformuleringen.

---

1) Jämför Weingartner (1963, kap 3).

2) För definition av kontinuitet se Hyltén-Cavallius & Sandgren (1958, sid 175).

3) Vi definierar en funktion $f(x_1,\ldots,x_n)$ som separabel om och endast om funktionen går att uttrycka som en summa av n funktioner, en för var och en av de n variablerna, d v s $f(x_1,\ldots,x_n) \equiv f_1(x_1) + \ldots + f_n(x_n)$. Jämför Charnes & Lemke (1954, sid 301).

Vidare anges tekniker för att lösa problem som kan uppstå vid försök att i problemformuleringen inordna verkliga fenomen som i viss mån ej uppfyller nämnda krav. Därefter analyseras det,efter att kraven på kontinuitet och separabilitet antas uppfyllda, för linjäritet tillkommande kravet att funktionerna av de enskilda variablerna skall vara av första graden d v s kunna skrivas som en konstant multiplicerad med variabeln ifråga. Vi analyserar således först kravet på kontinuitet.

Kontinuitet

Nedanstående figur visar exempel på icke kontinuerlig funktion

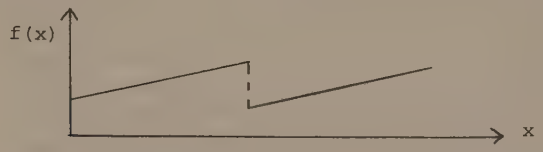


Fig. 15 Exempel på icke kontinuerlig funktion

Dylika komplikationer kan exempelvis orsakas av förekomsten av s k halvfasta kostnader, omställningstid vid övergång från produktion av viss vara till annan etc. Diskontinuerliga funktioner av det slag som visats ovan kan i likhet med s k styckvis linjära funktioner under vissa förutsättningar införas i problemformuleringen genom införande av fler variabler. Detta behandlas i anslutning till fig.16 nedan.

Separabilitet[1]

Kravet på separabilitet gäller såväl mellan variabler vilka tillhör olika block (LE) i problemformuleringen som variabler vilka tillhör samma block. Vi betraktar först kravet på separabilitet mellan olika block. För målfunktionens del innebär kravet på separabilitet här i princip att det tillskott (ev. negativt) som en beslutsvariabel ger till Z icke får vara beroende av vilka värden som åsättes variabler i andra block, d v s de olika blockens tillskott till Z skall vara additativa. Såväl utbuds- som efterfrågeberoenden kan dock medföra att detta krav icke uppfylls. Med utbudsberoende avser vi beroende-

1) Begreppet separabilitet har av vissa författare använts i meningen

> "... a problem of peripheral optimization will be said to be separabel from the overall problem of optimization if a knowledge of the dual prices is sufficient to ensure that the local optimum is compatible with the overall optimum." (Bessiere, 1969, sid 82)

Se exempelvis Bessiere (1969), Charnes, Clower & Kortanek (1967), Charnes & Kortanek (1968) och Hass (1968).

förhållanden vilka kan uppstå via kostnaden för i produktionsprocessen använda produktionsfaktorer. Exempelvis kan enhetspriset för en produktionsfaktor vara beroende av vilken mängdrabatt som erhålles och denna kan i sin tur vara bestämd av vilken mängd som totalt förbrukas inom hela organisationen.[1] Med efterfrågeberoende avses beroendeförhållanden vilka kan uppstå via det för produktionsprocessens output gällande försäljningspriset. Dylika beroendeförhållanden förekommer exempelvis mellan s k komplementära och supplementära varor.[2,3]

För de gemensamma restriktionerna innebär separabilitetskravet mellan blocken att de olika blockens respektive värden i restriktionernas vänsterled skall vara additativa, d v s de får icke påverkas av vilka värden som åsatts variabler i andra block. Dylika beroendeförhållanden kan dock tänkas uppstå för samtliga fyra restriktionstyper. Exempelvis kan ett sådant samband uppstå i en restriktion av typ 1 om stordriftsfördelar föreligger vid utnyttjandet av den resurs som restriktionen avser. Vad slutligen gäller de lokala restriktionerna kan p g a deras definition icke uppstå något problem med separabilitet mellan block. Om dylika samband existerar i en restriktion bör denna betraktas som tillhörande de gemensamma restriktionerna.

Ovan givna exempel på icke separabla samband indikerar att kravet på separabilitet kan vara svårt att uppfylla. Vissa möjligheter finns dock till omformulering av icke-separabla funktioner till separabla vilket dock kräver införandet av nya variabler och restriktioner.

> "Surprisingly many nonlinear expressions can be put into separable form by introducing additional variables and definitional constraints. To some extent, the techniques are ad hoc - they might even be called "tricks" - and, hence, do not lend themselves to systematic cataloguing." (Wagner, 1972, sid 556)

---

1) Vi nöjer oss med att endast exemplifiera tänkbara icke-separabla och icke-linjära samband i modellen då vi gjort den bedömningen att det här skulle föra för långt att redogöra för olika kostnads- och intäktsfunktioner etc, vilka utvecklats inom traditionell mikroteori.

2) För definition se exempelvis Schneider (1962, sid 7, 35)

3) Whinston (1962 kap 6) diskuterar och ger exempel på separabla och icke-separabla samband.

Vi skall med utgångspunkt från ett enkelt exempel där målfunktionen är icke-separabel visa två sätt att omformulera denna.[1] Antag att problemformuleringen innehåller endast två block (d v s n=2) och att dessa vidare endast innehåller en beslutsvariabel vardera. Antag vidare att målfunktionen har följande utseende:

$$Z = 10x_{11} - x_{11}x_{21} + 10x_{21}$$

Denna målfunktion är p g a förekomsten av produkten $x_{11}x_{21}$ icke separabel mellan blocken. För att eliminera detta kan två nya variabler, säg y_1 och y_2, införas vilka definieras enligt följande:

$$y_1 = \frac{1}{2}(x_{11} + x_{21})$$

$$y_2 = \frac{1}{2}(x_{11} - x_{21})$$

Eftersom $x_{11}x_{21} = y_1^2 - y_2^2$ kan målfunktionen skrivas

$$Z = 10x_{11} - y_1^2 + y_2^2 + 10x_{21}$$

vilket är en separabel funktion. Detta förutsätter naturligtvis att definitionerna av y_1 och y_2 införes som restriktioner.

Ett annat möjligt tillvägagångssätt skulle vara att införa en ny variabel, y, definierad enligt följande

$$y = x_{11}x_{21}$$

Följande samband, vilket införes som restriktion, gäller då

$$\ln y = \ln x_{11} + \ln x_{21}$$

Målfunktionen kan då skrivas i separabel form

$$Z = 10x_{11} - y + 10x_{21}$$

Hadley hävdar att

> "There seem to be very few problems which arise in practice that one cannot convert to... " separabel form "...by introducing a sufficient number of new variables and constraints." (Hadley, 1964, sid 123).

Vi nöjer oss dock med de två ovan antydda tillvägagångssätten vilka vi bedömt som mest intressanta i denna framställning.

---

1) För liknande exempel se exempelvis Charnes & Cooper (1957) och Hadley (1964, sid 119-123)

Vad kan då sägas gällande möjligheten att utnyttja denna typ av omformulering vid tillämpning av DW-planering. För det första noteras att både antalet variabler och restriktioner ökar. Detta kan utgöra en nackdel dels p g a att konvergensegenskaperna därmed kan försämras och dels p g a att problemet därmed i högre grad kan upplevas som stort och komplext av olika befattningshavare inom organisationen. De införda restriktionerna kan även hävdas ha en för konvergensegenskaperna ogynnsam utformning (högerledet utgörs av nollor). Detta berörs i avsnitt 7.5. För det andra noterar vi att icke-linjäriteten kvarstår men att denna ändrar karaktär. I det första tillvägagångssättet är fortfarande den ursprungligen icke separabla funktionen (i vårt exempel målfunktionen) icke-linjär men nu endast i termer av en variabel. De införda restriktionerna är linjära. I det andra tillvägagångssättet blir den ursprungliga icke separabla funktionen linjär medan däremot en icke-linjär restriktion tillkommer. På detta sätt kan alltså icke-linjäriteten "flyttas" från målfunktion till restriktioner. Icke-linjäriteten kvarstår alltså i någon form men som vi skall visa senare i detta avsnitt är detta under vissa antaganden i princip lösbart. För det tredje torde möjligheterna att ge de införda variablerna och restriktionerna en meningsfull ekonomisk tolkning vara ytterst begränsade. Variablerna y_1, y_2 och y motsvarar ju icke en aktivitet inom ett block utan har samband med aktiviteter i båda de berörda blocken. Av detta följer även att det är oklart hur de införda variablerna skall fördelas mellan blocken. Vidare kräver införandet av denna typ av variabler och restriktioner överblick över förhållanden i samtliga berörda block. Detta kan sägas strida mot exempelvis tolkningarna B och C såtillvida att CE där icke antas ha kännedom om exempelvis målvektorerna. Slutligen kan påpekas att eftersom samma variabler måste användas i både målfunktion och samtliga restriktioner kan tolkningen försvåras även inom de delar av problemformuleringen som icke krävt införandet av nya variabler. De ovan berörda nackdelarna med de två föreslagna tillvägagångssätten torde tendera att öka med det antal variabler och restriktioner som måste införas för att uppnå separabilitet. Beale hävdar dock vad gäller tillämpning av LP-modeller i allmänhet att

> "A number of mathematical programming problems are linear except for the presence of a few product terms" (Beale, 1968, sid 126)

Om detta gäller även vid tillämpning av DW-planering kan de två tillvägagångssätten vara av intresse.

Vi övergår så till separabilitetskravet inom blocken. De tidigare givna exemplen på icke separabilitet i Z och gemensamma restriktioner kan anges som exempel även här under förutsättning att de tolkas som gällande variabler tillhörande samma block. Givetvis kan icke-separabilitet här uppstå likaväl i gemensamma som lokala restriktioner. De två visade tillvägagångssätten att komma till rätta med icke separabla funktioner är tillämpbara även "inom" block. Nackdelarna torde dock bli mindre uttalade. Visserligen ökar problemformuleringens storlek men de införda variablerna och restriktionerna kommer att avse endast ett block. För att göra denna typ av omformulering krävs således icke nödvändigtvis överblick av CE utan respektive LE kan här besitta den för omformuleringen nödvändiga informationen och kan således på egen hand utföra denna. Detta torde öka möjligheten till en meningsfull ekonomisk tolkning av de införda variablerna och restriktionerna. Vidare uppstår här inget problem med att fördela de införda variablerna mellan olika block. Vad gäller de införda restriktionerna kommer de att läggas till de lokala restriktionerna. Eftersom de lokala restriktionerna icke nödvändigtvis måste vara linjära utan endast ge konvexa lösningsmängder[1] uppstår här möjligheten att "flytta" icke-linjäritet. Exempelvis kan enstaka produkttermer i målfunktion och gemensamma restriktioner, där linjäritet krävs, med hjälp av det ovan antydda andra tillvägagångssättet överföras till de lokala restriktionerna. Denna möjlighet, vilken alltså endast gäller icke-linjäritet "inom" block, kan vara av intresse, särskilt om problemformuleringen som tidigare antytts kan innehålla ett fåtal produkttermer.

Uttryck av första graden

Vi antar här att de funktionsuttryck som avses ingå i problemformuleringen är av eller genom ovan antydda tillvägagångssätt

---

1) Detta ger dock ej ändlig konvergens (Dantzig & Wolfe, 1961, sid 775).

eller approximation överförts till kontinuerlig och separabel form. För att kravet på linjäritet skall vara uppfyllt krävs vidare att funktionsuttrycken avseende respektive variabel skall vara av första graden d v s kunna skrivas som produkten av en konstant och beslutsvariabeln ifråga. För målfunktionens del innebär detta exempelvis att i den mån försäljningspris ingår i nämnda konstant detta skall vara oberoende av försåld mängd samt att kostnaderna i den mån dessa ingår skall vara proportionellt rörliga. För restriktionernas del innebär detta exempelvis att det i en typ 1 eller typ 2 restriktion icke får förekomma s k stordriftsfördelar. Dessa enkla exempel antyder att det kan vara motiverat att något beröra möjligheterna att genom omformulering eller approximation söka överföra icke-linjära funktioner till linjära.[1,2]

Omformulering av icke-linjära funktioner (eller delar av sådana) till linjära kan ske utan approximation d v s utan inverkan på funktionens utseende om funktionen (eller del av den) är styckvis linjär (se exempel A och B i fig.16).

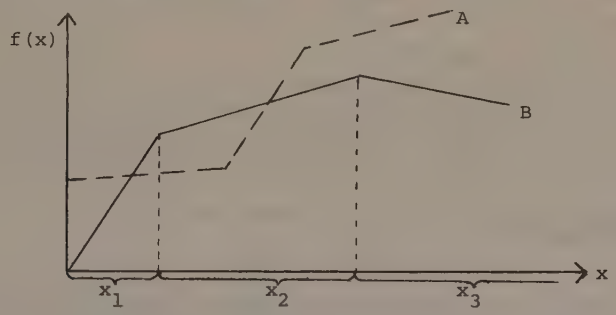


Fig. 16 Exempel på styckvis linjära funktioner.

Omformulering kan ske genom införande av en ny variabel för varje linjär del av funktionen (variablerna x_1, x_2 och x_3 för funktionen B i fig.16). Denna möjlighet är dock begränsad både vad

---

1) Vi antar att funktionerna redan formulerats och berör således ej tekniker för att på bästa sätt anpassa en funktion av viss grad till ett antal gjorda punktskattningar.

2) För drastiska exempel på fel uppkomna genom approximation av icke-linjära uttryck till linjära se Baumol & Bushnell (1967).

gäller målfunktionen och restriktionerna. För målfunktionens del måste den styckvis linjära funktionen vara konkav[1,2] (funktionen B i fig.16).Detta garanterar att variablerna kommer att ingå i lösningen i rätt ordning ($x_1x_2x_3$ i fig.16) eftersom den variabel som ger största tillskottet till Z först kommer att medtas.

Om detta krav däremot icke är uppfyllt (funktionen A i fig.16) måste restriktioner införas för att garantera att variablerna medtas i rätt ordning. Dessa restriktioner måste dock vara av heltalskaraktär[3] vilket icke är möjligt att inkludera i problemformuleringen[4].

Vid approximation av funktionsuttryck som icke är styckvis linjära kan sådana tekniker som exempelvis taylorutveckling, interpolation och minsta-kvadratmetoden tänkas komma till användning[5]. Vidare bör här uppmärksammas möjligheten att använda s k separabel programmering[6]. Denna metod går ut på att approximera funktioner, vilka förutsätts vara separabla, med styckvis linjära funktioner. (Se exempel i fig.17)

---

1) Konvex för minimeringsproblem

2) Förhållandet att s k tilltagande avkastning medför problem vid användande av priser som styrmedel har länge varit känt. För diskussion av detta samt förslag till lösning se Aoki (1971), Arrow & Hurwicz (1960), Heal (1971) och Kornai & Liptak (1965).

3) Se Markowitz & Manne (1957) samt exempelvis Wagner (1972, sid 553)

4) En annan möjlighet vore att använda den s k "restricted-basis-entry rule" (se exempelvis Wagner, 1972, sid 553) vilken går ut på att simplexmetoden modifieras så att variablerna endast kan medtas i lösningen i viss föreskriven ordning. Genom att utnyttja denna både vid lösandet av master- och subproblem skulle i princip problemet kunna lösas. Vi har dock icke bedömt detta tillvägagångssätt som tillräckligt intressant för att utvecklas vidare dels på grund av att lösningen kan utgöras av approximationer till lokala optima och dels på grund av att ytterligare informationsöverföring förmodligen skulle krävas eftersom både CE och respektive LE måste ha kännedom om i vilken ordning variablerna skall ingå.

5) Se exempelvis Lundqvist & Sjöberg (1970, sid 65-80).

6) Se Miller (1963, sid 89-99) samt exempelvis Hadley (1964, sid 104-111).

Fig.17 Exempel på approximation av icke-linjär funktion till styckvis linjär.

En dylik approximation kan göras godtyckligt noggrann genom val av ett tillräckligt antal linjära segment. Sedan detta skett kan problemet lösas i likhet med vad som föreslogs ovan för styckvis linjära funktioner. Samma antaganden om konkavitet etc måste dock gälla även här.

Valet mellan de ovan skisserade metoderna samt deras specifika utformning torde bli ytterst situationsspecifikt vid en praktisk tillämpning. I princip kan hävdas att endast approximationen av de förhållanden i problemformuleringen som påverkar lösningsprocessen är av betydelse. Detta antyder att det kan finnas mer och mindre avgörande delar i problemformuleringen vilket om möjligt bör beaktas i ovan nämnda valsituation. Som exempel kan nämnas att approximationen av restriktioner utanför tillåten lösningsmängd saknar betydelse. Upprepade användningar av DW-planeringen kan även tänkas ge en viss information om vilka restriktioner som kan förväntas bli begränsande under lösningsprocessen vilket bör påverka detta val. Möjligheten att ge de variabler, som införs i de ovan skisserade omformuleringarna, en meningsfull ekonomisk tolkning torde få bedömmas som relativt goda jämfört med motsvarande omformuleringar för att uppnå separabilitet. Dels knyts omformuleringarna här till endast en variabel och dels torde det vara lättare att förklara/förstå att exempelvis s k stordriftsfördelar samt icke konstanta försäljningspriser kan uttryckas genom dessa omformuleringar.

En svårighet vid användning av de i detta avsnitt skisserade tillvägagångssätten, alltså både avseende att uppfylla kravet på separabilitet och det senare behandlade kravet på linjäritet, är att de införda variablerna måste användas genomgående i hela

problemformuleringen. En variabeldefinition som utformats med utgångspunkt från målfunktionen eller någon av restriktionerna kan vara klart olämplig i övriga problemformuleringen. Detta kan exempelvis gälla de delar av övriga modellen där liknande omformuleringar krävs. Även möjligheten att ge dessa variabler en meningsfull ekonomisk tolkning kan som framgått vara starkt begränsad .

I princip kan de skisserade teknikerna sägas innehålla två element nämligen dels att kraven helt enkelt tillgodoses genom approximation (förenkling) och dels att de tillgodoses genom olika omformuleringar vilka icke förändrar innebörden i formuleringen. Det senare elementet sker dock på bekostnad av att nya variabler och i vissa fall nya restriktioner måste införas, vilket ökar problemformuleringens storlek. Vår uppfattning blir därför att de skisserade teknikerna främst bör betraktas som tänkbara hjälpmedel vid försök att komma till rätta med vissa icke-linjära fenomen i sådana problemsituationer som i övrigt relativt väl går att informulera i den linjära modellen.

6.4 Blockangulariteten

Antagandet om blockangulär struktur kan sägas gälla ett visst mönster för förekomsten av variablerna i restriktionerna. Antagandet gäller alltså icke arten av restriktioner utan endast i vilket mönster dessa uppträder. Vi har i tidigare avsnitt både tolkat och exemplifierat detta antagande[1] och skall här kortfattat beröra några principiella frågeställningar i anslutning till detta.

Med hjälp av en s k Boolesk matris[2] kan ovan nämnda mönster åskådliggöras på ett överskådligt sätt. I en sådan matris motsvaras varje rad av en restriktion och varje kolumn av en variabel. Ett element, q_{ij}, i matrisen åsätts värden enligt följande:

---

1) Framförallt avsnittet 5.2

2) Se exempelvis Hammar & Rudeanu (1968) och Starbuck (1965).

q_{ij} = 1 om variabel j förekommer i restriktion i

q_{ij} = 0 " " j icke förekommer i restriktion i

I nedanstående matriser konstruerade på detta sätt ges tre exempel på blockangulära strukturer.

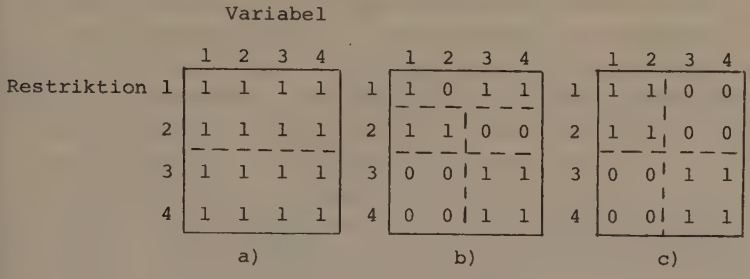


Fig. 18 Tre exempel på blockangulära strukturer.

Som framgår av exemplen kan en problemformulering med blockangulär struktur vara mycket skiftande till sin karaktär. Tidigare har påpekats att en godtycklig LP-formulering kan karakteriseras som blockangulär. En Boolesk matris utan nollelement (jämför exempel a ovan) kan betraktas som blockangulär antingen genom att sätta n = 1 eller m_j = 0, j=1,...,n d v s antingen genom att betrakta matrisen som bestående av gemensamma restriktioner och ett enda block lokala restriktioner eller att betrakta samtliga restriktioner som gemensamma. Ett annat extremfall utgörs av problemformuleringar som saknar gemensamma restriktioner[1] (jämför exempel c ovan). De här antydda extremfallen antas dock falla utanför denna framställnings intresseområde då det torde få betraktas som en förutsättning för DW-planering att den verkliga problemsituationen samtidigt uppvisar dels tillräckligt betydande lokala begränsningar för att göra en uppdelning av verksamheten på olika administrativa enheter önskvärd och dels tillräckligt betydande samband mellan dessa för att motivera användandet av den form av samordnad planering som DW-planeringen utgör.

---

1) Dylika problemformuleringar karakteriseras av somliga författare som "completely decomposable". Se exempelvis Weil (1968, sid 260).

Vad kan då generellt sägas om blockangulärítetsantagandets inverkan på formuleringen av en problemsituation? För det första bör påpekas att valet av lämplig beskrivningsnivå, avgränsning etc är komplexa frågeställningar där, förutom blockangulärítetsantagandet, sådana förhållanden som linjäritetsantagandet, modellens konvergensegenskaper, tolkningsmöjligheter etc bör beaktas. För det andra anser vi det rimligt att utgå ifrån att man vid praktiska tillämpningar av DW-planeringen har att arbeta utifrån dels givna produktionsförhållanden och dels givna uppdelningar av dessa på olika administrativa enheter. I sådana situationer torde det redan innan formulering av planeringsproblemet stå klart om problemsituationen i stort är av blockangulär form. Weil & Kettler talar här om "obvious structures" och nämner följande exempel:

> "Individual oil fields are subproblems and the refinery is the main problem: Chevrolet, Pontiac, Fisher Body etc, are subproblems and the General Motors Headquarters is the main problem." (Weil & Kettler, 1971, sid 98)

Även om strukturen i stort är given kan dock antagandet om blockangulärítet förväntas leda till ett antal principiella överväganden. Detta kan bland annat gälla huruvida vissa restriktioner skall betraktas som lokala eller gemensamma. Härvid måste å ena sidan beaktas effekten av den förenkling som görs om ett visst verkligt fenomen som inbegriper vissa samband mellan olika enheter endast medtas i form av en lokal restriktion (eller överhuvudtaget icke medtas) samt å andra sidan de effekter i form av ökat beräkningsarbete, försämrade konvergensegenskaper etc som kan bli följden av att fenomenet medtas i form av en gemensam restriktion.

I ovanstående resonemang utgick vi från att fördelningen mellan enheterna av de rådande produktionsförhållandena och de därmed sammanhängande aktiviteterna var given. I vissa specifika situationer kan dock valet av organisatorisk uppdelning av verksamheten tänkas bli aktuellt i samband med formuleringen av problemsituationen. Som exempel på dylika situationer kan nämnas:

- Den verksamhet som avses ingå i problemformuleringen har ej tidigare varit indelad i olika organisatoriska enheter

- Vissa nya verksamheter har tillkommit som skall fördelas mellan enheterna
- I samband med införandet av DW-planeringen kan en marginell omfördelning av aktiviteterna mellan enheterna aktualiseras.

I dylika situationer kan det vara oklart dels i vad mån problemsituationen går att informulera i den blockangulära strukturen och dels, om flera sådana formuleringar är möjliga, vilken av dessa som bör väljas. Det kan därför vara av intresse att kort beröra möjligheterna att framta:

1. Kriterier för att avgöra vilken av ett antal blockangulära formuleringar som är den lämpligaste.
2. Tekniker för att finna den enligt ett visst kriterium lämpligaste blockangulära formuleringen.

Punkt 1. Valet av lämpligaste blockangulära formulering och därmed sammanhängande uppdelning av verksamheten är intimt förknippat med hela problemkomplexet: val av lämplig organisatorisk design. Väl medvetna om att ett dylikt problemkomplex icke låter sig inordnas i ett enkelt kriterium för val mellan blockangulära formuleringar skall vi ge exempel på några principiella överväganden som kan påverka valet av ett dylikt kriterium. Vissa författare[1] har med utgångspunkt från beräkningsteknisk erfarenhet diskuterat principer för hur en blockangulär matris bör uppställas om syftet är att vid lösandet eftersträva minsta beräkningsarbete mätt i datortid. Weil och Kettler anser här att

> "For most implementations of the decomposition algorithm for linear programs, a sensible criteron for a matrix with n subproblems would be to minimize
> $$\sum_{j=1}^{n} (\bar{n} + \bar{n}_j)^2$$ "
> (Weil & Kettler, 1971, sid 105)[2]

där $\bar{n}$ betecknar minimum av totala antalet rader eller kolumner i de gemensamma restriktionerna och $\bar{n}_j$ betecknar minimum

---

1) Se exempelvis Madsen (1973), Rasmussen (1971) och Weil & Kettler (1971).

2) Våra beteckningar.

av totala antalet rader eller kolumner i subproblem j. Detta kriterium har utformats enbart med tanke på erforderligt beräkningsarbete. Vid val av lämpligt kriterium under punkt 1 kan det dock, mot bakgrund av vad som tidigare sagts, vara rimligt att lägga särskild vikt vid olika formuleringars effekt på totala antalet iterationer innan optimum nås. Vidare kan det vara rimligt att på något sätt söka beakta effekten av den till en viss formulering knutna organisatoriska uppdelningen. Vad gäller totala antalet iterationer kan ovan föreslagna kriterium te sig rimligt eftersom totala beräkningstiden i en dator bland annat påverkas av erforderligt antal iterationer. Vad däremot gäller effekten av den organisatoriska uppdelningen torde ovanstående kriterium vara mindre lämpligt. Som exempel kan nämnas att det föreslagna kriteriet, på grund av att $\bar{n}_j$ ingår i ett uttryck som skall minimeras, leder till val av formuleringar där antalet restriktioner och variabler i respektive subproblem är så olika som möjligt. Denna form av artificiell uppdelning torde stå i dålig överensstämmelse med en lämplig administrativ uppdelning av en verksamhet. Detta skulle kunna åtgärdas genom att i stället definiera $\bar{n}_j$ som maximum av totala antalet rader eller kolumner i subproblem j. Vidare ingår $\bar{n}_j$ i ett uttryck som skall kvadreras vilket tenderar att leda till val av problemformuleringar med många och vad gäller $\bar{n}_j$ jämnstora subproblem. Strävan efter jämnstora subproblem kan te sig rimlig även vid en uppdelning av en organisation. Däremot torde kriteriet behöva modifieras vad gäller antalet subproblem så att dessa icke maximeras utan snarare inriktas mot ett antal som med utgångspunkt från totala verksamhetens omfattning etc ter sig lämpligt. Detta kan tänkas ske i form av en till kriteriet fogad restriktion. Som exempel på punkter där kriteriet kan antas stå i samklang med överväganden utifrån effekten av den administrativa uppdelningen kan nämnas att kriteriet torde leda till val av problemformuleringar med relativt litet antal gemensamma restriktioner.

Bland annat beroende på effekten av olika administrativa uppdelningar torde valet av bästa blockangulära struktur kunna karaktäriseras som ytterst situationsspecifikt. Syftet med ovanstående resonemang under punkt 1 har endast varit att påvisa vissa överväganden som vid ett dylikt val kan bli aktuella.

Punkt 2. På grund av att inget entydigt kriterium uppställts under punkt 1 skall vi här antyda vilka tillvägagångssätt som i allmänhet kan användas för att generera blockangulära problemformuleringar d v s att genom omflyttning av rader och kolumner överföra problemformuleringar till blockangulär form.

Ett tillvägagångssätt vore att pröva samtliga kombinationer av rader och kolumner. Detta torde endast vara möjligt för små problem eftersom antalet möjliga kombinationer, här som i andra kombinatoriska problem, tenderar att tillta mycket snabbt.[1]

En annan möjlighet vore att söka formalisera problemet med hjälp av s k grafteori inom vilken mönstret av samband mellan olika element studeras.[2] En s k graf konstrueras så att alla de element som analysen avser identifieras med punkter varefter de element mellan vilka det råder ett visst samband sammanbinds. Detta skulle innebära att varje restriktion motsvaras av en punkt och att samband mellan två sådana anses existera om minst en variabel ingår i båda dessa restriktioner. I fig.19 har uppritats grafer motsvarande matriserna i fig.18 ovan.

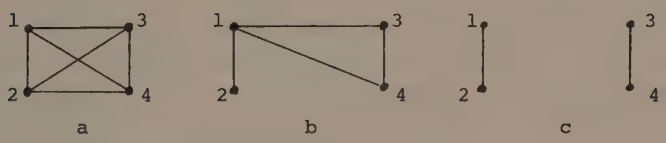


Fig. 19 Exempel på grafer.

En på detta sätt konstruerad graf skulle bland annat kunna användas för att genom inspektion urskilja de grupper av restriktioner inom vilka det råder starka samband samt även för att

---

1) Antal möjliga kombinationer = $m! \sum_{j=1}^{n} n_j!$, se Weil & Kettler (1971,sid 98).

2) För standardverk inom grafteori se exempelvis Avondo-Bodino (1962), Berge (1962), Flament(1963), Harary & Norman (1953), Ore (1963) samt även Starbuck (1965) som berör användningen av grafteori inom organisationsteorin.

utföra mera formaliserade analyser.[1,2]

Slutligen bör nämnas möjligheten att konstruera algoritmer med vars hjälp problemformuleringar kan överföras till s k blockangulär form.

Weil och Kettler har utgående från en s k Boolesk matris konstruerat en algoritm med vars hjälp en godtycklig sådan matris, genom omflyttningar av rader och kolumner enligt ett visst mönster, kan överföras till blockangulär form om en sådan existerar.[3] Om vissa exceptionella fall icke inträffar genererar algoritmen den blockangulära formulering som maximerar antalet subproblem dock att antalet subproblem icke får ökas på bekostnad av antalet gemensamma restriktioner.[4]

De under punkt 2 ovan antydda tillvägagångssätten att framta blockangulära formuleringar kan vara användbara för att generera förslag till alternativa blockangulära formuleringar. Ur dessa kan i sin tur genereras förslag till olika administrativa uppdelningar av en organisation.

---

1) För exempel på dylika analyser med utgångspunkt från grafteori se exempelvis Baty & Williams (1973), McGuire (1963) och Spillers (1973).

2) "Graphs have a good bit of intuitive appeal ..." (Starbuck, 1965, sid 363).

Samme författare hävdar dock att

> "... the advantages of graphs disappear rapidly as relations become more complex. Matrices afford a more flexible and effective representation..." (Ibid., sid 262).

3) Weil & Kettler (1971). Se även Hartman (1972) samt Weil (1968).

4) Jämför det ovan presenterade kriteriet.

6.5 Sammanfattning

I avsnitt 6.2 diskuterades valet av lämplig avgränsning samt beskrivningsnivå gällande det problem som avses inordnas i problemformuleringen. Vad gäller beskrivningsnivån påpekades möjligheten att arbeta med olika beskrivningsnivå i olika delar av problemformuleringen och under olika faser av planeringsprocessen.

I avsnitt 6.3, där innebörden av linjäritetsantagandet analyserades, visades exempel på tekniker vilka kan användas för att genom omformulering eller approximation föra över icke kontinuerliga funktioner till kontinuerliga, icke separabla funktioner till separabla samt uttryck av högre grad än ett till uttryck av första graden. Dessa tekniker medförde dock de nackdelarna att antalet variabler och/eller restriktioner ökades samt att dessa, för vissa av teknikerna, svårligen kunde ges en meningsfull ekonomisk tolkning. Av detta drogs slutsatsen att dessa tekniker främst bör betraktas som tänkbara hjälpmedel vid försök att komma till rätta med vissa icke-linjära fenomen i sådana problemsituationer som i övrigt relativt väl går att inordna i den linjära modellen.

I avsnitt 6.4 analyserades innebörden av antagandet om blockangulär struktur. Inledningsvis konstaterades att det i de flesta situationer torde stå helt klart om det studerade planeringsproblemet är av s k blockangulär struktur. I avsnittet diskuterades vidare möjligheten att framta kriterier för val mellan olika blockangulära strukturer samt tekniker, främst då grafteori och en lösningsalgoritm, vilka kan användas för att framta alternativa blockangulära strukturer.

7. PLANERINGSPROCESSENS KONVERGENSEGENSKAPER

7.1 Kapitelöversikt

I detta kapitel analyseras den iterativa planeringsprocessens konvergensegenskaper. Publicerade konvergenserfarenheter av DW-algoritmen utgör härvid det mest betydelsefulla underlaget.

Inledningsvis diskuteras i avsnitt 7.2 begreppet konvergensegenskaper samt källor för beräkningserfarenheter av DW-algoritmen.

Därefter följer i avsnitt 7.3 en diskussion av hur problemformuleringens storlek och struktur kan påverka DW-algortimens konvergensegenskaper. Bland storleksmåtten diskuteras antalet gemensamma och lokala restriktioner samt variabelantalet. I strukturavsnittet behandlas bl a matristäthet och degenererade baslösningar. Avsnittet avslutas med en redovisning av några kvantifierade konvergenserfarenheter samt ett grafiskt exempel på ett för DW-algoritmen typiskt konvergensförlopp.

I avsnittet 7.4 belyses hur förfarandet i startfasen kan påverka konvergensförloppet. Till en början konstateras behovet av en startprocedur. Diskussionen om hur en startprocedur lämpligen skall utformas inleds med ett uppställande av villkor som en sådan procedur bör uppfylla. Därefter följer en diskussion av olika startförfaranden med utgångspunkt från den tidigare utförda typklassificeringen av de gemensamma restriktionerna.

I avsnitt 7.5 diskuterar vi hur alternativa modifieringar av algoritmen under iterationsfasen kan påverka konvergensförloppet. Det tidigare införda tillvägagångssättet med "multiple pricing" kommenteras och motiveras. Därefter diskuteras en mer radikal modifiering i samma riktning där fler än enbart varje subproblems optimala baslösning går in i masterproblemet vid varje iteration. I detta sammanhang behandlas även några praktiska problem som en sådan modifiering torde medföra.

7.2 Allmänt

Tidigare har framgått att DW-algoritmen applicerad på ett linjärt problem ger en strikt monoton, ändlig konvergens mot maximum hos målfunktionen (se avsnitt 2.2 ovan).

För våra syften är dock denna insikt snarare en utgångspunkt än ett slutomdöme; ty som Philip Wolfe uttrycker det:

> "Unfortunately, knowledge of convergence alone is never enough: we do not then know whether the procedure will find an adequate solution within our lifetime, or whether it is any better than this universal algorithm: choose somehow a dense denumerable set of points and proceed to test them all." (Wolfe, 1970, sid.11)

Detta talar för en mer nyanserad beskrivning av DW-algoritmens konvergensegenskaper där såväl konvergenshastighet som konvergensförlopp berörs. Med benämningen konvergenshastighet avser vi antal iterationer tills målfunktionen antar sitt maximala värde medan vi med konvergensförlopp avser förändringarna i målfunktionen vid varje iteration i iterationsfasen. Kunskaper om konvergensförloppet ter sig särskilt intressanta utifrån trunkeringsproblemet. (Se kap 8 nedan)

I detta avsnitt analyseras några tillämpningsrelevanta omständigheter som kan tänkas påverka konvergensegenskaperna hos DW-algoritmen använd som ett planeringssystem i en organisation.[1]

Denna analys grundar sig huvudsakligen på publicerade konvergenserfarenheter av DW-algoritmen men delvis även på egna insikter grundade på vår kännedom om algoritmens funktionssätt.

De publicerade konvergenserfarenheterna av DW-algoritmen är relativt få[2] och kan i stort hänföras till två olika kategorier: för det första bidrag som behandlar DW-algoritmen som en beräkningsteknik för att lösa stora LP-problem[3] och för det andra bidrag som explicit diskuterar DW-algoritmen som ett styr- eller planeringsinstrument.[4]

---

1) Därutöver bör man även uppmärksamma att när DW-algoritmen tillämpas som en planeringsmetod kan avvikelser från algoritmen förekomma. Detta kan påverka planeringsprocessens konvergensegenskaper (se kap 10 och 20 nedan).

2) Detta hävdas av Dantzig & van Slyke (1971, s.95) och styrks även av våra egna litteraturstudier.

3) Se t ex Beale (1968), Beale, Hughes & Small (1965), Broise, Huard & Sentenac (1968), Lasdon (1970, s.224-229), Ohse (1966 och 1971), Orchard-Hays (1968, kap 10-12).

4) Se t ex Fox, McCamley & Plessner (1967), Jennergren & Müller (1973), Kutcher (1973), Rasmussen (1971) och Ross (1969).

7.3 Problemformuleringen

Av publicerade konvergenserfarenheter att döma finns goda skäl att anta att problemformuleringens egenskaper är betydelsefulla för DW-algoritmens konvergensegenskaper.

I detta avsnitt behandlar vi endast sådana problemformuleringar som uppfyller alla de grundläggande krav som en applikation av DW-planeringen ställer och diskuterar hur olika problemformuleringars egenskaper inom denna ram kan tänkas påverka konvergensegenskaperna.

Två egenskaper hos problemformuleringar diskuteras: storlek och struktur.

Storlek: Med detta begrepp avser vi problemformuleringens dimensioner där vi gör en distinktion mellan antalet gemensamma restriktioner å ena sidan och antalet restriktioner i LE-problemen samt det totala antalet variabler å andra sidan.

Antalet gemensamma restriktioner (m) tycks vara en kritisk faktor för konvergensegenskaperna. Detta påstående görs uttryckligen av vissa författare[1] och stöds även vid studium av sådana källor vars författare ej explicit uttrycker denna mening.

Förekomsten av mycket få gemensamma restriktioner tycks ej vålla några större svårigheter men vid problemformuleringar med ett stort antal gemensamma restriktioner får man räkna med en väsentligt långsammare konvergenshastighet.[2]

Om möjligheter finns bör denna omständighet beaktas vid fastställandet av problemformuleringen:

> "Do make a great effort to keep the number of common rows down, even if it means adding to the total number of rows in the problem." (Beale, 1969, sid 171)

Även om det absoluta antalet gemensamma restriktioner (m) torde vara betydelsefullt för konvergenshastigheten så tycks detta antal i relation till antalet LE (n) vara särskilt betydelse-

---

1) Se t ex Beale (1968, sid 169); Dantzig & van Slyke (1971, s. 95); Orchard-Hays (1968, s.251).

2) Somliga författare diskuterar endast beräkningstiden.

fullt. Ett stort m i förhållande till n kan leda till en mycket låg konvergenshastighet.[1] (Orchard-Hays, 1968, sid 251) Detta hävdas även av Nygreen (1973, sid.105).

Antalet LE-restriktioner (m_j) samt totala antalet variabler i hela problemformuleringen $\left(\sum_{j=1}^{n} n_j\right)$

En ökning av antalet variabler och/eller LE-restriktioner kan leda till ett mer omfattande beräkningsarbete i master- och LE-problem. Effekten av en storleksökning på konvergenshastigheten är dock ej omedelbart uppenbar eftersom storleksförändringar alltid även innebär strukturförändringar. Det är dock rimligt att förmoda att storleksökningar i allmänhet leder till en försämrad konvergenshastighet med undantag av de speciella fall då en i konvergenshänseende särskilt förmånlig struktur råkat framkomma.

Struktur: Med problemformuleringens struktur avser vi alla de numeriska relationer som finns i den totala problemformuleringen.

Vi skall här begränsa oss till att diskutera några få huvudaspekter på de strukturella förhållandenas betydelse för konvergensegenskaperna. Härvid utgår vi ifrån beräkningserfarenheter av LP-problem i allmänhet.

Ett ofta inom matematisk programmering använt mått som grovt ger uttryckt för en problemformulerings struktur är dess matristäthet. Tätheten anger hur stor andel av det totala antalet matriselement som $\neq 0$.

Generellt kan man säga att en ökad täthet även tenderar att ge en ökad beräkningstid (Beale, 1969, sid 61). Emellertid tycks det vara så att LP-modeller vanligen har en relativt låg täthet vilken minskar ju större modellerna blir.[2] Stora LP-modeller

---

1) Att storleken på n är av betydelse för konvergenshastigheten impliceras även av försök som gjorts att åstadkomma en optimal grad av dekomponering utifrån ett givet problem och en given dekompositionsalgoritm. Se t ex Kutcher (1969, sid 506-507), Madsen (1973, sid 241-250) samt Rasmussen (1971, kap. 9).

2) Eftersom DW-algoritmen utgår från en blockangulär problemformulering finns det 0-element mellan varje block. Emellertid kan det inom vart och ett av blocken även förekomma 0-element. Därför krävs fler än ett täthetsmått för att beskriva en blockangulär problemformulerings struktur; ett mått för den totala formuleringen samt ett mått för vart och ett av de n blocken.

har ofta en täthet på < 1 %. (Orchard-Hays, 1968, sid 64).

Betydelsen av denna omständighet för DW-planeringen är oklar eftersom det i detta sammanhang snarare är konvergensförloppet än totala beräkningstiden som är av intresse.

Vidare kan påpekas att en LP-modells matriselement vanligen måste utsättas för någon form av "scaling"-förfarande för att motverka avrundningsfel och alltför långa beräkningstider.

> "It is desirable to make all non-zero matrix elements approximately equal to 1 in magnitude. Values of 10 or 0,1 are quite acceptable, but values of 1000 or 0,001 are apt to slow the program down." (Beale, 1968, sid 86) [1]

"Scaling"-förfarandet, vilket vanligen ingår i datorbaserade standardprogram, åstadkommer den önskade matrisstrukturen genom att multiplicera rader och/eller kolumner med en lämplig konstant. (Orchard-Hays, 1968, sid 126)

Vi skall även beröra problemet med degenererade baslösningar. Om flera av basvariablerna = 0 kan detta leda till att nästkommande simplexiterationer ej ger någon förändring av målfunktionen. I mycket sällsynta fall uppstår s k "cycling" där man får en evig rundgång mellan ett antal baslösningar utan någon ändring i målfunktionen. (Ibid., sid 42)

Mycket degenererade baslösningar kan bli följden av en riklig förekomst av nollor i högerledet. Detta kan undvikas genom att byta ut dessa nollor mot mycket små tal, lämpligen mellan 10^{-5} och 10^{-3}. [2]

I DW-planering kan det givetvis förekomma nollor både i LE-

---

1) "Remember that bad scaling (having non-zero matrix elements very different from (1) in absolute value) is bad in ordinary linear programming, and is apt to be very bad in decomposition because of the way sub-problems are cut off before reaching optimum in each major iteration." (Beale, 1968, sid 171).
Se vidare avsnitt 7.5 nedan.

2) Se t ex Beale (1968, sid 86) eller Orchard-Hays (1968,sid 131).

problemens och masterns högerled.[1] En riklig förekomst av nollor i masterns högerled kan innebära nackdelar i konvergenshänseende. (Orchard-Hays, 1968, sid 42).

Avslutningsvis vill vi betona att det torde vara kombinationen av storleks- och strukturförhållanden som avgör konvergensegenskaperna.

Ifråga om vanliga LP-problem förekommer uppgifter om att den totala beräkningstiden ungefärligen varierar med kuben av antalet restriktioner.[2]

Några motsvarande uttalanden angående DW-algoritmen tycks ej vara möjligt att göra utifrån publicerade beräkningserfarenheter. Vad gäller slumptalsgenererade problemformuleringar så anger Ohse (1971, sid 60-62) en konvergenshastighet på 94, 38, 44, 94 respektive 62 iterationer på fem problem av moderat storlek medan Rasmussen (1971, sid 36) refererar ett fall av konvergens vid endast 7 iterationer på ett klart större problem.[3]

Ifråga om konvergenserfarenheter av modeller grundade på planeringsdata kan nämnas ett exempel rörande planering av jordbruksregioner. Kutcher (1973) anger en konvergenshastighet på 18 iterationer och att man efter 7 iterationer uppnådde 97,5 % av målfunktionens maximala värde i en modell av icke obetydlig storlek byggd på aggregerade data från fem jordbruksdistrikt i Mexico.[3] Bristande jämförbarhet föreligger dock mellan detta resultat och våra i kap.19 nedan redovisade konvergenserfarenheter (se avsnitt 18.4 nedan).

---

1) Förekomsten av ett stort antal nollor i masterns högerled kan ej hänföras till rena undantagsfall. Nollor kan ju t ex förekomma i alla typ 3- och typ 4-restriktioner, när man vill balansera flera variablers värden mot varandra. Praktiska exempel är här internleveranser mellan LE eller vid omformuleringar av en ursprunglig icke-separabel restriktion för att få den separabel. (Se avsnitt 6.4 ovan).

2) Se t ex Beale (1968, sid 152) eller Wolfe & Cutler (1963, sid 195).

3) Respektive problems dimensioner var följande:

	Ohse (1-5)	Rasmussen	Kutcher
m:	10	8	51
n:	5	15	5
m_j:	20	10	24,26,30,26,30
n_j:	30	24	34,45,46,39,67

I litteraturen har vi däremot inte kunnat finna några konvergenserfarenheter av planeringsmodeller grundade på data från ett enskilt företags planeringsproblem.

Inledningsvis i detta avsnitt betonades angelägenheten av kunskaper om konvergensförloppet. De publicerade konvergenserfarenheterna anger dock ej alltid detta och relaterar det ej till storleks- och strukturförhållanden. Generellt kan dock sägas att ett karakteristiskt konvergensförlopp för DW-algoritmen tycks vara kraftiga förändringar av målfunktionen vid tidiga iterationer som så småningom avtar så att konvergensförloppet hos målfunktionen nära maximum blir asymptotiskt.[1] (Orchard-Hays, 1968, sid 251)

Ett karakteristiskt sådant konvergensförlopp illustreras i nedanstående figur:

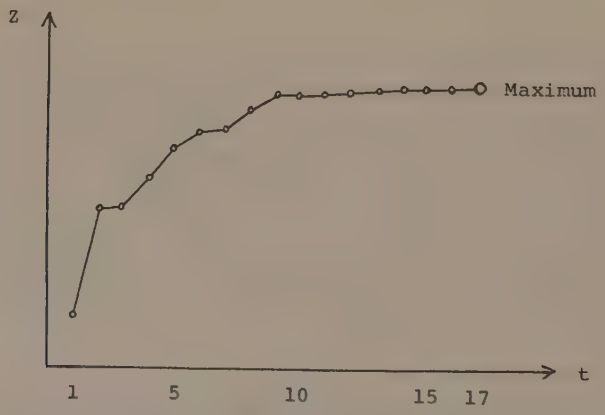


Fig.20 Ett karakteristiskt konvergensförlopp för DW-algoritmen.
(Bygger på Rasmussen, 1971, sid 100)

1) Den avslutande "svansens" längd kan dock förkortas avsevärt om någon smärre modifiering av den ursprungliga DW-algoritmen tillämpas: t ex "multiple pricing" (Lasdon, 1970, sid 225-227). Se vidare avsnitt 7.5 nedan.

7.4 Startfas

Som tidigare påpekats definierar DW-algoritmen ej DW-planeringens startfas. Emellertid förefaller det rimligt att i första hand eftersträva en utformning av startfasen som står i överensstämmelse med den efterföljande iterationsfasen. Detta innebär således att vi tänker oss att startfasen inleds med att CE ger LE en uppsättning priser avseende de gemensamma restriktionerna. På grundval av dessa inledande prisuppgifter avger så varje LE ett förslag till CE.

Det kan visa sig problematiskt för CE att i startfasen ange lämpliga startpriser.[1] Dessa startsvårigheter kan förknippas med följande två villkor som startpriserna bör uppfylla:

1) De måste leda till sådana LE-förslag att masterproblemet blir tillåtet.
2) Masterproblemets startlösning bör vara "bra" i z^M-termer; d v s ej skilja sig mycket från iterationsfasens slutliga (maximala) mastermålvärde.[2]

Ett uppfyllande av det första kravet är nödvändigt för att iterationsfasen över huvud taget skall starta eftersom masterproblemet eljest ej kan generera några dualpriser på de gemensamma restriktionerna. Det andra villkoret är snarare att betrakta som ett önskemål grundat på konvergenserfarenheter från stora problemformuleringar där tillgodoseende av detta villkor tycks vara av vital betydelse för konvergenshastigheten. (Beale, Hugh & Small, 1965, sid 15)

CE måste således i startfasen inrikta sig på att i första hand skaffa sig en tillåten startlösning byggd på LE-förslag. Därvid bör man även försöka se till att denna lösning är "bra" i z^M-termer.

---

1) Som tidigare påpekats är det gängse Fas I-förfarandet ej tillämpligt här. (Se avsnitt 2.2 ovan)

2) Detta gäller även de från startlösningen härledda dualpriserna.

> "... considerable saving in running time if one can generate ¶-values at the start of the problem that are quite like the ¶-values at the final optimum." (Beale, Hugh & Small, 1965, sid 15-16)
>
> Anm.: ¶-value = dualpris (p^t)

Man bör vidare observera att en tillåten startlösning kan basera sig på flera uppsättningar LE-förslag erhållna från flera på varandra följande startförsök med olika utgångspriser. Om flera uppsättningar LE-förslag finns tillgängliga finns ju den möjligheten att dessa på sedvanligt sätt viktas. Naturligtvis finns ingen garanti för att ett fåtal sådana uppsättningar LE-förslag kan viktas till en tillåten startlösning men sannolikheten för detta ökar med varje uppsättning LE-förslag som tillställs CE.

Önskemålet om en "bra" tillåten startlösning är givetvis en ytterligare komplicerande faktor. CE bör naturligtvis i startfasen utnyttja all tillgänglig information för att försöka tillgodose detta önskemål. Man kan därvid utgå från under tidigare perioder gällande planer och eventuellt företa modifieringar av dessa. Om sådana planer ej är tillgängliga eller om radikalt förändrade förutsättningar nu är för handen kan man alltid göra några "kvalificerade gissningar". De på så sätt framtagna alternativa planerna kan tillsammans med LE-förslagen utnyttjas i mastern för att åstadkomma en "bra" tillåten startlösning. Man måste dock på något sätt försäkra sig om att dessa CE:s egna uppskattningar eller gissningar är LE-tillåtna eftersom man annars riskerar att slutlösningen motsvarar en punkt utanför en eller flera LE:s tillåtna lösningsmängder.

Konvergenserfarenheter ifrån stora problemformuleringar betonar starkt betydelsen av att man i mastern har tillgång till flera uppsättningar LE-förslag:

> "If a large number of initial trial proposals cannot conveniently be constructed, it is probably useless to put in just one proposal from each subproblem. This will not provide realistic ¶-values on the common rows, and introduces awkward degeneracies into the master problem." (Beale, 1968, sid 170)[1]

1) Värdet av flera uppsättningar startförslag betonas även av Kutcher (1973, sid 517-519) och Ross (1969, sid 211).

CE:s huvudproblem är emellertid att hitta en tillåten startlösning. När denna uppgift fullgjorts kan man inrikta sig på att generera "bra" dualpriser genom att CE kan väga samman den tillåtna masterlösningen med såväl egna uppskattningar och gissningar som tillgängliga uppsättningar av LE-förslag.

Utsikterna för CE att snabbt hitta en tillåten startlösning varierar avsevärt med karaktären på de gemensamma restriktionerna. Man bör ju notera att det just är förekomsten av dessa som utgör CE:s samordningsproblem. Startsvårigheterna orsakas ju av den omständigheten att iterationsfasen ej kan starta förrän man i mastern har åstadkommit en tillåten första lösning baserad på LE-förslag som avgivits med ledning av CE:s startpriser men utan direkt kännedom om de gemensamma restriktionerna.

Vi skall nedan kortfattat diskutera hur de gemensamma restriktionernas karaktär kan tänkas påverka CE:s svårigheter att starta iterationsfasen. Mot bakgrund av de tidigare urskiljda fyra olika restriktionstyperna diskuterar vi hur startpriserna lämpligen bör sättas för att CE skall få LE-förslag som motsvarar en tillåten startlösning.[1] Givetvis kan CE ej på detta sätt garantera sig en tillåten lösning även om en sådan existerar eftersom CE ej känner subproblemens restriktioner. Vi kommer därför i diskussionen om startförfaranden att endast tala om tendenser och utgå från två principiellt olika fall: en gemensam restriktion och flera.

1) En gemensam restriktion

En gemensam restriktion av typ 1-karaktär uppfylls vid tillräckligt låga aktivitetsnivåer. Ett sätt för CE att få LE att välja låga aktivitetsnivåer är att ange ett högt startpris. Efter-

---

1) Benämningen "startpriser" syftar på det enkla prisbegreppet p^t.

som varje LE har till uppgift att maximera målfunktionen $z_{jt} = (c_j - p^t A_j)x_j$ leder ett högt startpris (p^t) till ett lågt eller negativt värde på z_{jt}. Ifråga om en gemensam restriktion av typ 2-karaktär gäller det omvända, d v s en hög subvention styr LE mot val av höga aktivitetsnivåer vilket tenderar att uppfylla restriktionen.

En gemensam restriktion av typ 3-karaktär tenderar att uppfyllas vid låga värden på aktiviteter med positiva koefficienter och höga värden på aktiviteter med negativa. Detta kan åstadkommas med ett högt startpris. Vad avser typ 4-restriktioner gäller återigen omvändningen: här gäller det att uppnå höga värden på aktiviteter med positiva koefficienter och låga värden på aktiviteter med negativa. En sådan tendens kan CE erhålla i LE-förslagen genom höga subventioner.

Vi kan summera den hittillsvarande diskussionen i nedanstående sammanfattande exemplifiering.

Typ av gemensam restriktion	Startpris	Tendens i motsvarande LE-förslag[1]
Typ 1: $x_1 + x_2 \leq k$	högt pris	$x_1 \downarrow$; $x_2 \downarrow$
Typ 2: $x_1 + x_2 \geq k$	hög subvention	$x_1 \uparrow$; $x_2 \uparrow$
Typ 3: $x_1 - x_2 \leq k$	högt pris	$x_1 \downarrow$; $x_2 \uparrow$
Typ 4: $x_1 - x_2 \geq k$	hög subvention	$x_1 \uparrow$; $x_2 \downarrow$

2) Flera gemensamma restriktioner

Sammanställningen ovan kan även användas som utgångspunkt för en diskussion av lämpliga startförfaranden då flera gemensamma restriktioner förekommer. Noteras bör att om minst en beslutsvariabel ingår i flera gemensamma restriktioner kan motstridiga effekter av de tidigare föreslagna startpriserna uppstå.[2] Av sammanställningen ovan framgår dock att det aldrig kan inträffa om samtliga gemensamma restriktioner är av typ 1 eller om samtliga är av typ 2. I alla andra fall kan uppenbarligen motstridiga

1) Pilarnas riktning anger tendens till låga respektive höga värden på motsvarande aktiviteter.

2) Man kan naturligtvis eliminera dessa motstridiga effekter genom att ge vissa restriktioner startpriset 0. Hur man därigenom påverkar möjligheterna att erhålla en mastertillåten startlösning måste emellertid bedömas från fall till fall.

effekter uppstå.

Observera vidare att CE kan utesluta möjligheten av motstridiga effekter endast om man har tillgång till samtliga A_j-matriser eller vet att dessa består av endast typ 1-restriktioner eller endast typ 2-restriktioner.

Generellt kan sägas att utsikterna för CE att åstadkomma en tillåten masterlösning är bättre ju mer information CE har om problemformuleringens beskaffenhet. Ur denna synvinkel ter sig en informationsfördelning i enlighet med tolkning A av iterationsfasen att föredra framför både B och C. Vid tolkning A beräknar CE $c_j^{rt} = c_j - p^t A_j$ för samtliga LE och kan därför sätta startpriserna så att LE styrs att avge förslag i den av CE önskade riktningen.

Vi vill även påminna om möjligheten att göra upprepade startförsök om det första ej lyckas. CE kan då ägna särskild uppmärksamhet åt de restriktioner som ej håller och anpassa justeringen av respektive startpriser till skillnaden mellan dessa restriktioners högerled och summan av LE-förslagen. Sådana successiva justeringar underlättas ju av om CE känner A_j och ännu hellre även c_j för samtliga LE.

Ett exempel på ett helt annorlunda startförfarande om flera startförsök krävs är att CE gör radikala (teckenväxling) godtyckliga prisändringar. De uppsättningar LE-förslag som erhålles efter sådana radikala prisändringar behöver var för sig ej utgöra en tillåten startlösning. Avsikten med dessa radikala prisändringar är istället att ge CE kännedom om ett antal i LE:s tillåtna lösningsmängder mycket olika belägna extremalpunkter. Dessa innefattar snabbt stora delmängder av LE:s tillåtna lösningsmängder så att masterprogrammet efter relativt få startförsök torde kunna väga fram en tillåten startlösning.

Om allvarliga startsvårigheter skulle uppstå återstår utvägen att för startfasen tillgripa någon form av särskild beräkningsrutin, t ex det modifierade Fas I-förfarandet (se avsnitt 2.2 ovan) eller någon variant av primal-dual dekomponering (se t ex Balas, 1966 eller Bell, 1965).

Diskussionen ovan har varit av en formell natur på hög beskrivningsnivå. I en avslutande nyansering av denna kan man förmoda att DW-planeringens startförfarande torde påverkas av de erfarenheter och lärdomar som de inblandade parterna så småningom får så att den lämpligaste rutinmässiga startproceduren måhända kraftigt avviker från de förfaranden som vi ovan diskuterat.

7.5 Iterationsfas

Vi har tidigare frångått den ursprungliga DW-algoritmen, där endast det bästa LE-förslaget tas in i masterproblemets bas, till förmån för en modifikation kallad "multiple pricing". (se avsnitt 3.2 ovan). Detta förfarande svarar mot att vid varje iteration låta flera LE-förslag ingå i mastern och sedan lösa denna.[1] Lasdon (1970, sid 222) rekommenderar att vid varje iteration ta med alla (n) LE-förslagen vilket motiveras av redovisade konvergenserfarenheter. (Ibid., sid 225-227). Även Rasmussen (1971, sid 33) argumenterar för denna modifikation av DW-algoritmen och redovisar fördelaktiga konvergenserfarenheter. (Ibid., sid 36)[2]

"Multiple pricing"-förfarandet utgår ifrån LE-problemens optimala lösningar vid varje iteration. En mer långtgående modifikation är att vid varje iteration i mastern ta med fler än en enda extremalpunkt ifrån varje LE-problem. Om LE-problemen vid varje iteration löses med någon variant av simplexmetoden framkommer ju normalt flera tillåtna baslösningar innan den optimala lösningen erhålles. Det har föreslagits att dylika "intermediära" LE-förslag skall tas med i masterproblemet för att gagna konvergenshastigheten:

> "In many problems the π-values oscillate significantly from one major iteration to the next, and the intermediate proposals are often more valuable in the long run than the final proposals obtained on early major iterations." (Beale, 1968, sid 167)

---

1) Redan Dantzig & Wolfe (1961, sid 774) föreslog denna variation i syfte att nedbringa antalet iterationer.

2) Ett flertal ytterligare författare förespråkar en dylik modifiering av DW-algoritmen. Bland dessa märks Harvey (1964, sid 35), Kutcher (1969, sid 503-504) och Simonnard (1966, sid 220-221).

Beale, Hugh & Small (1965, sid 15) framhåller det lämpliga i att kontrollera frekvensen av utnyttjandet av sådana intermediära extremalpunkter. Vid iterationsfasens början tillåts en högre frekvens av sådana förslag att ingå i mastern, för att ge den många alternativ att välja emellan så att man snabbt skall få en "bra" masterlösning och minska tendensen till oscillation i priserna. I syfte att hålla ned storleken på mastern reduceras frekvensen under iterationsfasens vidare förlopp för att åter ökas i slutskedet i syfte att motverka DW-algoritmens karakteristiska asymptotiska konvergensförlopp.

Kontrollen av de intermediära extremalpunkternas införande i mastern kan även kombineras med en tidsbesparande trunkering av LE-problemens lösningsprocedur, framför allt vid tidiga iterationer. (Ibid., sid 15)

En motsvarande åtgärd som kan underlätta masterns funktion tycks vara att inte ta bort några LE-förslag ur masterproblemet när de en gång tagits med. (Ibid., sid 14)

> "Theoretically it is only necessary to retain the proposals in the current basis, but it seems to help the master problem to have a number of other proposals on hand, to make the best use of the new material offered." (Beale, 1968, sid 170)

Avslutningsvis vill vi betona att de flesta av de i detta avsnitt redovisade konvergenserfarenheterna härrör ifrån lösningen av stora eller mycket stora problemformuleringar. Så mycket torde dock ändå stå klart att "multiple pricing" eller någon variant därav utgör en för DW-planeringens konvergensegenskaper värdefull modifikation av DW-algoritmen. En uppenbar svårighet är emellertid att vissa ovan diskuterade modifieringar av algoritmen är tämligen svårtolkade i ekonomiska och organisatoriska termer vilket gör dem mindre attraktiva ur DW-planeringens synvinkel.

7.6 Sammanfattning

I avsnitt 7.2 betonades betydelsen av ett ingående studium av DW-algoritmens konvergensegenskaper samtidigt som vi även konstaterade en brist på publicerade beräkningserfarenheter.

Därefter fann vi i avsnitt 7.3 att problemformuleringens egenskaper tycks vara väsentliga för konvergensegenskaperna. En särskilt kritisk faktor därvidlag befanns vara antalet gemensamma restriktioner. Vi fann även att ett karakteristiskt konvergensförlopp för DW-algoritmen tycks vara att man vid tidiga iterationer får relativt stora tillskott till målfunktionens värde vilka vid senare iterationer avtar så att ett i det närmaste asymptotiskt konvergensförlopp erhålles just innan maximum uppnås.

I avsnitt 7.4 konstaterade vi inledningsvis att masterproblemets startlösning i hög grad kan påverka konvergensförloppet. Mot denna bakgrund diskuterades därpå olika startförfaranden.

Utformningen av sådana och bestämningen av lämpliga startpriser visades bero på de gemensamma restriktionernas karaktär, indelad efter den tidigare utförda klassificeringen i fyra olika typer. Vi fann att det i allmänhet kan komma att krävas flera startförsök med successiva justeringar av startpriserna innan en tillåten startlösning erhålles.

I det avslutande avsnittet, 7.5, styrkte vi lämpligheten i den tidigare föreslagna modifieringen av DW-algoritmen kallad "multiple pricing". Mycket talar för att denna modifikation nedbringar antalet iterationer. I samma avsnitt diskuterades även möjligheten av att låta fler än ett enda förslag från varje LE gå in i masterproblemet vid varje iteration. Flera praktiska problem befanns dock vara förknippade med en sådan långtgående modifiering av DW-algoritmen även om vissa indicier tyder på att konvergenshastigheten därigenom ytterligare kan ökas.

8. PLANERINGSPROCESSENS TRUNKERING

8.1 Kapitelöversikt

Det följande kapitlet behandlar skäl för och praktiska möjligheter att trunkera, d v s avbryta, den iterativa planeringsprocessen. Inledningsvis redogör vi för uppkomst och innebörd i trunkeringsproblemet följt av en diskussion av tänkbara tumregler för trunkering.

I avsnitt 8.2 diskuterar vi skäl för varför en trunkering kan vara önskvärd. Här behandlas även trunkeringsproblemets principiella innebörd och motiv för en förenklad syn på detta komplicerade beslutsproblem.

Därefter följer i avsnitt 8.3 en beskrivning av ett estimat som är en överskattning av det maximala målvärdet. Detta estimat bildar tillsammans med en rad andra enkla överväganden en bas för den därpå följande diskussionen av tumregler vid trunkering. Härvid åtskiljs enkla och kombinerade trunkeringsregler där de enkla endast består av ett enda beslutskriterium.

8.2 Trunkeringsproblemet

Om man endast beaktar den operativa målfunktionen Z uppkommer aldrig frågan om trunkering av iterationsfasen eftersom det i uttrycket för Z ej förekommer någon variabel som är en funktion av iterationsfasens längd. Eftersom man vidare genom DW-algoritmen tillförsäkras en strikt monoton tillväxt av målfunktionen tills maximum nås är det uppenbart att en maximering av Z utesluter en trunkering av iterationsfasen.

Det kan emellertid mycket väl tänkas att man ej uteslutande önskar beakta endast de omständigheter vilka man lyckats innefatta i den operativa målfunktionen Z. Om man sålunda vidgar sitt målperspektiv kan man vilja fästa avseende vid flera faktorer vilkas värden är avhängiga av iterationsfasens längd.

Exempel på sådana typer av faktorer är framför allt alla rörliga informationskostnader som är att hänföra till DW-planeringen.

Bland dessa återfinns sökkostnader för information samt kostnader för läsning, bearbetning, lagring, utskrift och transmission av data. Andra faktorer av vikt kan utgöras av DW-planeringens beteendemässiga effekter på de individuella befattningshavarna[1], graden av föränderlighet i företagets omgivning, beroendeförhållanden till företagets totala kort- och långsiktiga planeringssystem[2], alternativutnyttjandevärdet av den kapacitet som den slutliga planen ej tar i anspråk etc.

Frågan om trunkering av iterationsfasen sammanhänger således med det vidgade målbegreppets omfattning och inriktning vilket är avhängigt av den specifika tillämpningssituationen. Denna omständighet begränsar en behandling av trunkeringsproblemet till principiella resonemang grundade på generella och förenklande antaganden.

I princip ställs CE vid varje iteration inför valet att trunkera iterationsfasen eller ej. Denna CE:s beslutssituation återges i nedanstående figur:

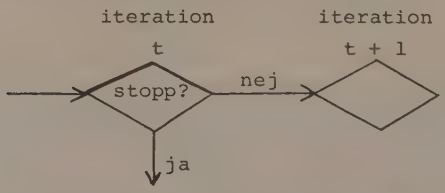


Fig. 21 Beslutssituationen vid trunkering

Trunkeringsbeslutet vid varje iteration beror först och främst av det aktuella värdet av den operativa målfunktionen Z. Därutöver tillkommer korrigeringar för det aktuella värdet av övriga faktorer som CE önskar ta hänsyn till. Därvid erhålles ett korrigerat operativt målvärde. Utfallet av trunkeringsbeslutet beror

---

1) Några sådana effekter av DW-planeringen berörs i kap.10 nedan.

2) Omgivningens dynamik och relationerna till företagets övriga planeringssystem påverkar planeringsperiodens längd. Dylika frågor behandlas i avsnitt 9.4 nedan.

givetvis även av förväntningar om utvecklingen av målvärdet och övriga faktorer under kommande iterationer. Iterationsfasen skall givetvis ej trunkeras vid iteration t om man genom ytterligare iterationer förväntar sig uppnå ett högre korrigerat målvärde än det som hittills erhållits.[1]

Trunkeringsproblemet är ett synnerligen komplext beslutsproblem under osäkerhet där man inte endast har att beakta aktuellt och framtida värde av det korrigerade operativa målvärdet utan även bör ta hänsyn till kostnaderna för att ta fram information om de relevanta korrigeringsfaktorerna. Starka skäl talar således för det lämpliga i att förenkla detta beslutsproblem så att det kan hanteras.

8.3 Tumregler vid trunkering

Behovet av förenklade beslutsregler och tumregler är uppenbart mot bakgrund av det ovan skisserade komplexa beslutsproblemet att fastställa en optimal trunkering av iterationsfasen.

En första utgångspunkt för konstruktion av enkla trunkeringsregler är naturligtvis den operativa målfunktionens värde eller förändringen av detta värde. Inom DW-algoritmens ram finns möjligheter att konstruera trunkeringsregler utifrån en överskattning av det maximala målvärdet. En sådan överskattning erhålles om CE vid varje iteration utför följande estimering:[2]

$$\dot{Z}^M_t \geq \max Z^M \qquad 8.1$$

där $$\dot{Z}^M_t = Z^M_t + \sum_{j=1}^{n} \delta_{jt}$$

d v s $\dot{Z}^M_t$ är en överskattning av max Z^M vid iteration t.

$$\max Z^M = \sum_{j=1}^{n} c_j \hat{x}^o_j$$

$$Z^M_t = \sum_{j=1}^{n} c_j \hat{x}^t_j$$

$$\delta_{jt} = (c_j - p^t A_j)\, x_{jt} - \bar{p}^t_j$$

---

1) Trunkeringsproblemet vid iterativ planering har beskrivits på liknande sätt av Marglin (1963, sid 114-115) och Marschak (1972, sid 266).

2) Se t ex Dantzig (1963, s.452) och Lasdon (1970, s.163-164).

Talföljden $\dot{Z}^M_k$; k = 1,...,t; konvergerar mot max Z^M ovanifrån. Därvid kan dock ej monotonicitet garanteras (Lasdon, 1970, sid 164).

Genom följande enkla modifiering av estimatet kan man dock tillförsäkra sig om en monoton sådan konvergens (Holvid, 1969, sid 18):

$$\bar{Z}^M_t = \min \{\dot{Z}^M_{t-1} ; \dot{Z}^M_t\} \qquad 8.2$$

En grafisk illustration av detta estimat i ett fiktivt exempel ges nedan:

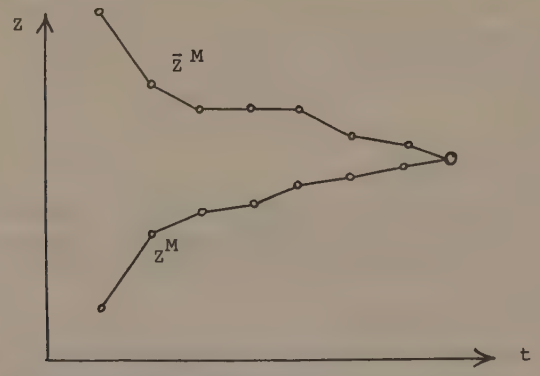


Fig. 22 En illustration av $\bar{Z}^M$ och Z^M.

Ett stort antal tumregler vid trunkeringsbeslut kan naturligtvis konstrueras utifrån de ovan skisserade utgångspunkterna. Vi nöjer oss emellertid med att här endast ge några få exempel på sådana. Bland de nedan presenterade reglerna gör vi vidare en distinktion mellan enkla och kombinerade trunkeringsregler. De enkla tar antingen explicit hänsyn till kostnads- eller intäktsförhållanden eller ger implicit på ett ospecificerat sätt samtidigt uttryck för både kostnader och intäkter. De kombinerade trunkeringsreglerna sammanför vissa av de enkla.

Enkla trunkeringsregler

1) Max kostnad
   Iterationsfasen trunkeras när en viss total kostnad uppnås. I denna kan CE medta de typer av uppoffringar i samband med varje iteration som man explicit önskar beakta och som relativt enkelt låter sig kvantifieras och värderas.

2) ε-optimalitet[1]

Iterationsfasen trunkeras när ett visst på förhand fastställt ε-optimalt operativt målvärde uppnåtts.

Begreppet ε-optimalitet anknyter till skillnaden mellan det operativa målvärdet och motsvarande överskattning; d v s iterationsfasen trunkeras när

$$\bar{Z}_t^M - Z_t^M = \gamma_t \leq \varepsilon \qquad 8.3$$

där ε är ett på förhand bestämt positivt tal.

3) Förändringen av γ

Iterationsfasen trunkeras mht förändringen av γ mellan två på varandra följande iterationer, d v s trunkering sker när

$$\gamma_t - \gamma_{t+1} \leq \alpha_1 \quad \text{eller} \quad \frac{\gamma_t - \gamma_{t+1}}{\gamma_{t-1} - \gamma_t} \leq \alpha_2 \qquad 8.4$$

där α_1 och α_2 är på förhand bestämda positiva tal. (Absoluta eller relativa i förhållande till Z_t^M)

4) Min operativt målvärde

Iterationsfasen trunkeras när ett visst på förhand fastställt minsta operativt målvärde uppnåtts, d v s trunkering sker när

$$Z_t^M \geq \beta \qquad 8.5$$

där β är ett på förhand bestämt positivt tal.

5) Förändringen av operativt målvärde

Iterationsfasen trunkeras mht förändringen i det operativa målvärdet mellan två på varandra följande iterationer[2] d v s trunkering sker när

$$Z_{t+1}^M - Z_t^M \leq \eta_1 \quad \text{eller} \quad \frac{Z_{t+1}^M - Z_t^M}{Z_t^M - Z_{t-1}^M} \leq \eta_2 \qquad 8.6$$

Där η_1 och η_2 är på förhand bestämda positiva tal. (Absoluta eller relativa i förhållande till Z_t^M)

---

1) Se Holvid (1969, sid 18).

2) Detta trunkeringskriterium föreslås av Broise, Huard & Sentenac (1968, sid 96).

6) Max antal iterationer
Iterationsfasen trunkeras efter ett visst på förhand fastställt antal iterationer.

7) Max tid
Iterationsfasen trunkeras när en viss på förhand fastställd tidrymd förflutit.

Kombinerade trunkeringsregler

1) ε-optimalitet mht max iterationsfas
ε-optimalitet kombineras med maximal längd av iterationsfasen uttryckt som max antal iterationer, max tid eller max kostnad.

2) Förändringstakten i γ
Förändringen i γ studeras över ett flertal eller samtliga iterationer. Urskiljbara tendenser i förändringstakten kan därvid utgöra ett tänkbart trunkeringskriterium.

3) Min operativt målvärde mht max iterationsfas
Min operativt målvärde kombineras med maximal längd av iterationsfasen uttryckt som max antal iterationer, max tid eller max kostnad.

4) Förändringstakten i operativt målvärde
Förändringen i operativt målvärde studeras över ett flertal eller samtliga iterationer. Urskiljbara tendenser i förändringstakten kan därvid utgöra ett tänkbart trunkeringskriterium.

Ovan givna exempel på tumregler vid CE:s trunkeringsbeslut gör självfallet ej anspråk på fullständighet utan syftar endast till att demonstrera hur man kan utnyttja den information som inom ramen för DW-planeringen under iterationsfasens förlopp successivt ackumuleras hos CE.

Avslutningsvis bör tilläggas att tumregler av ovan skisserade slag kan kompletteras med intuitiv och/eller systematiserad information angående betydelsefulla korrektionsfaktorer vilka ej kommer till uttryck i ovanstående typ av förenklade trunkeringsregler.

8.4 Sammanfattning

I avsnitt 8.2 konstaterade vi att förekomsten av rörliga planeringskostnader, beteendeeffekter på befattningshavare, förändérlig företagsomgivning etc. kan göra en trunkering av den iterativa planeringsprocessen önskvärd. En sådan önskan visade sig leda till ett högst komplicerat beslutsproblem under osäkerhet vilket motiverar en förenklad problembehandling där man med hjälp av tumregler söker komma till rätta med trunkeringsproblemet.

Dylika tumregler diskuterades i avsnitt 8.3 där vi angav en möjlighet att vid varje iteration göra en successivt allt bättre överskattning av målfunktionens maximala värde. Bland de angivna tumreglerna vid trunkering fanns dels enkla regler som endast grundar sig på ett enda beslutskriterium som t ex max kostnad, ε-optimalitet, min målvärde, max antal iterationer men dels även kombinerade beslutsregler vilka beaktar flera beslutskriterier som t ex ε-optimalitet mht max iterationsfas eller min målvärde mht max iterationsfas.

9. PLANBESLUTET

9.1 Kapitelöversikt

Detta kapitel berör utformningen av den del av DW-planeringen som återstår när iterationsfasen avslutats. Mot bakgrund av vissa angivna villkor på de slutliga planerna diskuteras några alternativa former för beslut av dessa planer inom DW-planeringen. Avslutningsvis anläggs även vissa temporala beslutsaspekter.

I avsnitt 9.2 klargör vi situationen vid iterationsfasens slut samt uppställer två konsistenskrav på de slutliga planerna.

Därefter följer i avsnitt 9.3, mot bakgrund av de angivna konsistenskraven, en analys av tre alternativa beslutsformer och egenskaperna hos motsvarande planbeslut. De tre beslutsformerna "priser", "planvillkor" och "beordrad plan" illustreras även med några genomgående konkreta exempel. I samband med beslutsformen pris diskuteras även några i litteraturen föreslagna icke-linjära omformuleringar av den ursprungliga linjära problemformuleringen. Detta avsnitt avslutas med några jämförande reflexioner mellan beslutsformerna vad beträffar skilda krav på informationsöverföring och styreffekter.

I det avslutande avsnittet 9.4 vidgas den tidigare diskussionen genom att vi här även för fram några temporala beslutsaspekter.

9.2 Allmänt

Iterationsfasen avslutas med att CE framtar en sista masterlösning och erhåller ett motsvarande mastermålvärde. Efter iterationsfasen återstår emellertid beslutsfasen vilken skall resultera i planerade aktivitetsnivåprogram för respektive LE. Dessa planer är dock ej kända av respektive LE utan CE:s uppgift under beslutsfasen blir att vägleda varje LE mot sådana planer som kan sägas vara konsistenta med den sista masterlösningen. Vad kan då rimligen krävas av en konsistent plan? Ett första rimligt krav är att planerna ej innebär brott mot någon av de gemensamma

restriktionerna eftersom man i annat fall ej åstadkommit något annat än en uppsättning ogenomförbara planer. För det andra är det rimligt att kräva att planerna ger upphov till minst samma totala måluppfyllelse som det sista mastermålvärdet.

De för de enskilda LE gällande planerna, $\bar{x}_j$; j = 1,...,n; bör således uppfylla följande två krav för att kunna sägas vara konsistenta med den sista masterlösningen:

$$\sum_{j=1}^{n} A_j \bar{x}_j \leq a \qquad 9.1$$

$$\sum_{j=1}^{n} c_j \bar{x}_j \geq \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{t} c_{jk} s_{jk}^{t} \qquad 9.2$$

Ovanstående två konsistenskrav på LE:s planer benämns i fortsättningen kravet på genomförbarhet respektive kravet på måluppfyllelse.

I beslutsfasen är det således CE:s uppgift att vägleda respektive LE mot konsistenta planer. CE kan naturligtvis söka utföra denna uppgift på ett flertal olika sätt där framförallt tre grundläggande beslutsformer kan urskiljas. Dessa diskuteras nedan.

9.3 Alternativa beslutsformer

Inom DW-planeringens ram återfinns tre huvudsakliga alternativa beslutsformer. Ett alternativ är att CE anger de slutpriser som kan förknippas med den sista masterlösningen. Ett annat alternativ är att CE till respektive LE meddelar

$\hat{a}_j^t = \sum_{k=1}^{t} s_{jk}^t a_{jk}$ utgörande "planvillkor" för respektive LE:s planbeslut.[1] Ett tredje alternativ är slutligen att CE själv fattar respektive planbeslut, $\hat{x}_j^t = \sum_{k=1}^{t} s_{jk}^t x_{jk}$, och beordrar LE att genomföra respektive plan.

---

1) Denna beslutsform antyddes av Almon (1963, sid 465) och har vidareutvecklats av Jennergren (1971, sid 20-23).

Observeras bör emellertid att CE:s disposition över dessa tre beslutsformer är helt beroende av vilken tolkning av DW-algoritmen som tillämpats i iterationsfasen. Om tolkning A eller B tillämpats tidigare kan ej beslutsformen planvillkor användas eftersom LE ej har tillgång till matrisen A_j vilket krävs i denna beslutsform (se nedan). Vid tolkning C förfogar CE endast över de två förstnämnda beslutsformerna eftersom CE ej känner x_{jk}; k = 1,...,t; vilket erfordras för att bestämma det slutliga aktivitetsnivåprogrammet. Med undantag av beslutsformen pris , vilken kan användas vid samtliga tre tolkningar, är således CE:s val av beslutsform givet av den tolkningsvariant som tidigare tillämpats.

Ovan nämnda tre alternativa beslutsformer diskuteras nedan var för sig varvid huvudintresset ägnas frågan huruvida respektive beslutsformer är förenliga med de två ovan uppställda konsistenskraven. Beslutsformerna illustreras även med några genomgående exempel vilka anknyter till de fyra olika typerna av gemensamma restriktioner.

1) Beslutsform: priser

Denna beslutsform innebär att CE liksom under iterationsfasen vägleder LE med hjälp av priser. CE anger den slutliga prisvektorn och LE maximerar sina subproblem under beaktande av dessa slutpriser.[1] Här kan man tänka sig att alternativt utnyttja den uppsättning priser som föregått den sista masterlösningen eller de priser som grundar sig på den sista masterlösningens dualpriser.[2]

---

1) Dessa slutprisers beskaffenhet beror på vilken tolkningsvariant som tidigare tillämpats i iterationsfasen; vid tolkning A: c_j^{rt}, B: c_j^{at} och C: p^t (se vidare avsnitt 5.3 ovan)

2) En fördel med det förstnämnda alternativet är att CE på förhand kan bestämma graden av ogenomförbarhet i LE:s planbeslut. Om denna möjlighet till fullo utnyttjas skulle CE till och med vara i stånd att, med ledning av tidigare iterationers priser och därpå följande LE-förslag, till respektive LE ange den uppsättning kända priser motsvarande kända LE-förslag som totalt ger högsta måluppfyllelse utan att bryta mot någon av de gemensamma restriktionerna. Denna CE:s möjlighet avstår vi dock av utrymmesskäl ifrån att utveckla vidare.

Följande exempel illustrerar den typ av konsekvenser som en vägledning med hjälp av priser medför för LE:

Gemensam restriktion	Beslutskonsekvenser för LE
Typ 1:	Priser på gemensamma råvaror eller avgifter för centrala servicetjänster (t ex utnyttjande av gemensamma maskiner).
Typ 2:	Subventioner för att upprätthålla minimerade försäljnings- och/eller inköpsvolymer eller subventioner för att upprätthålla minimerade produktionsnivåer.
Typ 3:	Subventioner som beaktar efterfrågeberoenden i försäljningen av komplementära produkter (t ex vid utbud av hel produktlinje).
Typ 4:	Priser att erlägga för, respektive åsätta, på förhand destinerade internleveranser.

Varje LE:s subproblem får således följande utseende:

$$\begin{aligned} \max_{x_j} \quad & Z_{jt} = (c_j - p^t A_j)x_j \\ \text{mht} \quad & B_j x_j \leq b_j \\ & x_j \geq 0 \end{aligned} \qquad 9.3$$

Är då de av LE på detta sätt fattade planbesluten identiska med de planer som en motsvarande beordrad plan skulle ha omfattat? Det är ett välkänt faktum att denna beslutsform inte fungerar särskilt väl eftersom normalt ej alla LE kommer att välja $\bar{x}_j = \hat{x}_j^t$.[1] Skälet härtill är att om man antar att minst en av de gemensamma restriktionerna är bindande vid slutlösningen så medför detta att $\hat{x}_j^t$ för minst ett j = 1,...,n icke utgörs av en

1) Konstanta prisers otillräcklighet i linjära system har uppmärksammats av ett stort antal författare, se t ex Baumol & Fabian (1964, sid 14-15), Charnes, Cooper & Henderson (1953, sid 33-36), Dantzig (1963, sid 464-465), Hadley (1962, sid 485), Koopmans (1951 och 1957,sid 22-23) Samuelson (1966, sid 435-436), Weingartner (1963, sid 50-51).

extremalpunkt i denna LE:s tillåtna lösningsmängd.[1] Detta innebär att minst en LE fattar ett avvikande planbeslut (d v s $\bar{x}_j \neq \hat{x}_j^t$ för minst ett j = 1,...,n) eftersom LE enbart väljer extremalpunkter. Noteras bör att resonemanget gäller både för trunkerade och optimala slutlösningar.

De vid denna beslutsform tillkomna avvikande planbesluten av LE kan ju råka bli antingen genomförbara eller ogenomförbara. Beslutsformen pris tillgodoser således ej alltid det tidigare uppställda genomförbarhetskravet.

Vad gäller kravet på måluppfyllelse kan man genast utesluta det fall då planerna ej är genomförbara. Om så är fallet finns ingen grund för jämförelse eftersom de beslutade planerna ej kan sättas i verket utan en förändring av den totala problemformuleringen.

Vad sedan beträffar tillåtna lösningars måluppfyllelse bör fallet med optimala och trunkerade masterlösningar åtskiljas. Om totalproblemet har en entydig optimallösning måste med nödvändighet varje annan lösning som är tillåten ge lägre måluppfyllelse. Detta är dock uppenbarligen ej nödvändigtvis fallet vid en trunkering eftersom masterprogrammet då ej känner alla de extremalpunkter i LE:s tillåtna lösningsmängder som skulle ingå i en optimallösning. En eller flera LE kan välja sådana extremalpunkter vilka t o m kan råka leda till en högre måluppfyllelse än den som den sista masterlösningen angett. Tillåtlighet vid optimum innebär således att kravet på måluppfyllelse med säkerhet ej tillgodoses medan detta krav kan råka uppfyllas vid en trunkering och t o m som en strikt olikhet.

---

1) Jennergren (1971, sid 38-39) visar detta på följande sätt: antag att totalproblemets slutlösning utgörs av en entydig icke degenererad baslösning $\hat{x}_j^t$, j = 1,...,n och att r $\geq$ 1 gemensamma restriktioner är bindande vid denna slutlösning. Då måste det totala problemets baslösning innehålla $r + \sum_{j=1}^{n} m_j$ positiva variabler (inklusive slackvariabler). Samtliga subproblem har dock tillsammans endast $\sum_{j=1}^{n} m_j$ restriktioner vilket innebär att $\hat{x}_j^t$ för minst ett j = 1,...,n icke utgörs av en extremalpunkt i denna LE:s tillåtna lösningsmängd.

Beslutsformen pris kan således leda till ogenomförbara planbeslut såväl vid optimum som vid fall av trunkering. Denna otillåtlighet kan givetvis vara mer eller mindre grav. I somliga fall kan den mycket väl visa sig falla inom ramen för rimliga felmarginaler men det kan lika väl röra sig om betydande avvikelser ifrån de gemensamma restriktionerna.

För att LE skall kunna genomföra de fastställda planbesluten blir CE hänvisad till att i efterhand justera erforderliga gemensamma restriktioner.[1] Observeras bör att en sådan justering i princip kan utföras på två olika sätt eller genom en kombination av dessa; CE kan ändra höger- och/eller vänsterled. Dessa förändringar innebär således en justering av vektorn a och/eller av någon eller några av de på motsvarande rad i matrisen A_j förekommande koefficienterna. Med ett konkret exempel skulle en ändring av vektorn a kunna möjliggöras genom extra inköp av råvaror medan en motsvarande ändring av matrisen A_j skulle kunna innebära en rationalisering i form av en råvarubesparande modifiering av en produktionsprocess.

CE:s val av tillvägagångssätt för att åstadkomma tillåtlighet och därmed möjliggöra ett genomförande av de av LE fattade planbesluten beror på vilket av ovan skisserade alternativ eller kombination av alternativ som ter sig mest förmånligt. Underlag för en värdering av de två justeringsalternativen kan erhållas genom att utnyttja respektive restriktioners dualpriser som ju ger en värdering av marginella förändringar av högerledet vilka kan jämföras med kända konsekvenser av modifieringar av vänsterledet.[2]

---

1) Om en sådan justering företas av problemformuleringen har man i princip löst ett annat problem än det ursprungliga. Detta medför att frågan huruvida LE:s planer i detta fall tillgodoser de uppställda konsistenskraven saknar relevans eftersom bristande jämförbarhet föreligger med övriga beslutsformer vilka ej kan medföra otillåtlighet och därav påfordrade förändringar av det ursprungliga problemet.

2) För en detaljerad diskussion av känslighetsanalys av optimallösningar till LP-problem se Dantzig (1963, sid 265-275).

Detta ter sig som en synnerligen problematisk valsituation vilken dock endast kan föreligga vid tolkning A eller B av DW-algoritmen då CE förutsätts ha tillgång till matrisen A_j. Vid tolkning C känner emellertid CE endast vektorn a. Vid denna tolkning uppstår därför aldrig ovanstående valsituation utan CE är hänvisad till att enbart justera respektive gemensam restriktions högerled för att åstadkomma tillåtlighet.

Avslutningsvis vill vi påpeka att man i beslutsfasen kan upprätthålla en anstrykning av prismekanism och ändå vara garanterad att både kravet på genomförbarhet och måluppfyllelse tillgodoses genom att utföra en omformulering av respektive LE:s målfunktioner till icke-linjär form.

Charnes, Clower & Kortanek (1967) föreslår att CE i beslutsfasen förutom konstanta priser avger ytterligare information till respektive LE i form av "preemptive goals".[1] Detta medför att LE:s problem vid beslutsfasen ges följande form:

$$\max_{x_j} Z^{PG}_{jt} = (c_j - p^t A_j)x_j - V \left\| \alpha_j - A_j x_j \right\| \qquad 9.4$$

$$\text{mht } B_j x_j \leq b_j$$

$$x_j \geq 0$$

där

$\alpha_j = \hat{a}_j^t$ = respektive "preemptive goal"

V = ett stort positivt tal

$\left\| \ldots \right\}$ Betecknar normen $\max \left| \ldots \right|$ [2]

---

1) På svenska ungefär "på förhand bestämda mål".

2) För varje index j kan för varje par av vektorelement en skillnad uppkomma, ett tal. Normen ovan anger det till beloppet största av dessa tal. Hyltén-Cavallius & Sandgren (1965, sid 196).

Genom att välja ett högt värde på talet V kan CE kraftigt bestraffa LE:s avvikelser från respektive $\hat{a}_j^t$ och därmed försäkra sig om att såväl genomförbarhets- som måluppfyllelsekravet tillgodoses.[1]

Jennergren (1971, kap III samt 1972) föreslår att CE i beslutsfasen övergår från konstanta till variabla priser (d v s utbuds- och/eller efterfrågekurvor). Dessa anpassas individuellt efter varje LE så att respektive subproblems målfunktion ges ett maximum för respektive $\hat{x}_j^t$. De variabla priserna, p_j^v, teckenas:

$$p_j^v = r_j + kx_j^T A_j^T \qquad 9.5$$

där r_j är en 1xm kolumnvektor så att $r_j = p^t - 2k(\hat{x}_j^t)^T A_j^T$

k är en godtycklig skalär > 0

^{T} betecknar transponat

I beslutsfasen får nu LE:s problemformulering följande utformning, där nu målfunktionen är kvadratisk:

$$\max \quad z_{jt}^{vp} = [c_j - (r_j + kx_j^T A_j^T)A_j]x_j \qquad 9.6$$

$$\text{mht} \quad B_j x_j \leq b_j$$

$$x_j \geq 0$$

Detta förfarande tillgodoser, liksom det föregående, de båda tidigare uppställda konsistenskraven. Vidare har CE vid itera-

---

1) Se nedan diskussionen av konsistenskravens tillgodoseende under beslutsformen planvillkor. Förfarandet med att ange "preemptive goals" kan nämligen även uppfattas som en variant av denna beslutsform eftersom den inriktar sig på att se till att samtliga planvillkor $\hat{a}_j^t$ uppfylles genom att kraftigt korrigera eventuellt förekommande snedvridande effekter av de likaså angivna slutpriserna.

tionsfasens slut, vid alla de tre tolkningsvarianterna, tillräcklig information för att beräkna de variabla priserna p_j^v för respektive LE. (Ibid., sid 97 respektive sid 1413).

2) Beslutsform: planvillkor ($\hat{a}_j^t$)

I stället för en vektor av slutpriser kan CE till varje LE ange en uppsättning planvillkor, härledda från den sista masterlösningen och tidigare LE-förslag. Ur den sista masterlösningen framkommer en uppsättning slutliga vikter, s_{jk}^t; $j = 1,\ldots,n$. Från tidigare LE-förslag framgår direkt vid tolkning C

$$a_{jk}; \begin{cases} k = 1,\ldots,t \\ j = 1,\ldots,n \end{cases}.$$

Planvillkoren framkommer ju därpå som tidigare antytts som

$$\hat{a}_j^t = \sum_{k=1}^{t} s_{jk}^t a_{jk} \; ; \quad j = 1,\ldots,n.^1$$

Med bibehållande av samma illustrerande exempel som tidigare ger denna beslutsform följande vägledande information för LE.

Gemensam restriktion	Beslutskonsekvenser för LE
Typ 1:	Maximerad tilldelning av råvaror (kvotering) eller kvotering av centrala servicetjänster (t ex maximerad maskintid)
Typ 2:	Minsta tillåtna mängd att sälja och/eller köpa eller minimiproduktion
Typ 3:	Lägsta och högsta volymgräns i försäljningen av komplementära produkter
Typ 4:	Minimimängd att leverera respektive maximimängd att mottaga av på förhand destinerade internleveranser.

1) En variant av denna beslutsform är att CE endast till LE anger den sista masterlösningens slutvikter s_{jk}^t; $j = 1,\ldots,n$; och låter varje LE själv beräkna sina respektive planvillkor. Denna variant antyddes av Dantzig (1963, sid 461).

Planvillkoren kan uppfattas som tillkommande restriktioner i LE:s subproblem varför dessa nu får följande principiella utseende:

$$\begin{aligned} \max_{x_j} \ & Z_{jt} = c_j x_j \\ \text{mht} \ & A_j x_j \leq \hat{a}_j^t \\ & B_j x_j \leq b_j \\ & x_j \geq 0 \end{aligned} \qquad 9.7$$

Märk att de planbeslut som LE fattar enligt denna beslutsform med nödvändighet alltid måste uppfylla kravet på genomförbarhet. Detta gäller givetvis vid såväl en optimal som en trunkerad icke-optimal lösning.

Även kravet på måluppfyllelse tillgodoses vid denna beslutsform. Vid en entydig optimal masterlösning leder de angivna planvillkoren fram till identiskt lika planbeslut och därmed även identisk måluppfyllelse som en motsvarande beordrad plan skulle ha omfattat.[1] Om flera optimala lösningar finns ger de definitionsmässigt samma måluppfyllelse. Vid fall av trunkering uppfylls fortfarande kravet på måluppfyllelse men ett betydelsefullt faktum är att man i detta fall kan få annorlunda planbeslut än de som en motsvarande beordrad plan skulle specificerat och detta eventuellt tillsammans med en högre måluppfyllelse Detta gäller även om den trunkerade masterlösningen är entydig. Förklaringen till detta är att vid en trunkering har masterprogrammet ännu ej täckt in alla de extremalpunkter i LE:s tillåtna lösningsmängder som en optimallösning skulle omfatta. Vid en trunkering kan LE således, med hänsyn till givna planvillkor, fatta sådana planbeslut som hittills ej täckts in av masterprogrammet. Orsaken till att LE väljer ett annat planbeslut än det som antecipierats av masterprogrammet kan för det första vara att detta avvikande planbeslut ger en högre måluppfyllelse vid LE:s maximering av sitt subproblem. För det

---

1) Detta inses genom att erinra sig att en optimal masterlösning just kännetecknas av att den utgör den optimala vägningen av alla de tidigare avgivna LE-förslagen. Iterationsfasen och därmed förslagsgivningen upphör ej förrän inget ytterligare förslag befinns vara lönsamt att längre väga in i mastern. Masterprogrammet har således registrerat alla LE:s intressanta extremalpunkter. Maximeringsförfarandet av LE:s subproblem förhindrar vidare att LE i beslutsfasen väljer en sämre plan än den optimala och någon bättre står definitionsmässigt ej att finna.

andra kan LE fatta ett avvikande planbeslut även om så ej är fallet. En sådan situation kännetecknas av att dess subproblem har oändligt många lösningar utefter ett linjesegment som sammanbinder två extremalpunkter. I det fallet finns inget motiv för LE att just välja den punkt på detta linjesegment som motsvarar det av masterprogrammet antecipierade planbeslutet. Om så ändå sker har detta val tillkommit mer genom en slump än genom CE:s vägledning.

Det är således värt att notera att beslutsformen planvillkor, förutom att den alltid uppfyller genomförbarhetskravet, alltid uppfyller kravet på måluppfyllelse. Särskilt betydelsefull ter sig insikten att ett angivande av planvillkor vid en trunkering kan leda till högre total måluppfyllelse än vad motsvarande beordrade plan skulle ge, d v s måluppfyllelsekravet kan vid trunkering tillgodoses som en strikt olikhet.

3) Beslutsform: beordrad plan ($\hat{x}^t_j$)

I detta fall fattar CE själv respektive planbeslut och beordrar varje LE att genomföra dessa. Den sista masterlösningens vikter kombineras med de i tolkning A eller B uppkomna planförslagen vilket ger den beordrade planen:

$$\hat{x}^t_j = \sum_{k=1}^{t} s^t_{jk} x_{jk} \; ; \quad j = 1,\ldots,n \; ^1$$

Sålunda kan de tidigare använda exemplen vid denna beslutsform ges följande innebörd:

Gemensam restriktion	Beslutskonsekvenser för LE
Typ 1:	Den beodrade produktionsplanen specificerar både råvaruförbrukning och utnyttjandet av central servicekapacitet (t ex planerad maskintid)
Typ 2:	Beordrad inköps-, försäljnings- och produktionsplan fastställer omfattningen av respektive aktiviteter
Typ 3:	Den beordrade försäljningsplanen fastställer försäljningen av respektive produkter
Typ 4:	Den beordrade planen specificerar internleveransernas omfattning, avsändare och destination.

1) Även denna beslutsform kan varieras så att CE endast till LE anger den sista masterlösningens slutvikter s^t_{jk}; $j=1,\ldots,n$; och låter varje LE själv framta sina respektive planer. Denna variant har föreslagits av Baumol & Fabian (1964, sid 14).

Detta alternativ lämnar således ingen som helst rörelsefrihet åt LE vilka endast lämnas att utföra det av CE fattade planbeslutet. Om så sker medför denna beslutsform givetvis att både kravet på måluppfyllelse och genomförbarhet alltid uppfylls.

I en avslutande jämförelse mellan de tre ovan nämnda beslutsformerna sammanfattar vi först diskussionen huruvida dessa tillgodoser de uppställda konsistenskraven på genomförbarhet och måluppfyllelse samt deras tillämplighet m.a.p. iterationsfasens tolkning. Därefter görs några korta reflexioner rörande beslutsformernas skilda krav på omfattningen av informationsöverföringen och olika styreffekter.

Nedanstående figur summerar beslutsformernas tillgodoseende av konsistenskraven:

1) krav på genomförbara planbeslut:

är $\sum_{j=1}^{n} A_j \bar{x}_j \leq a$

2) krav på planbeslutens måluppfyllelse:

är $\sum_{j=1}^{n} c_j \bar{x}_j \geq \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{t} c_{jk} s_{jk}^{t}$

eslutsform tillämplighet)	Trunkering: icke-optimal lösning		Ej trunkering: optimal lösning	
	Alt.I:	Alt.II:	Alt.I:	Alt.II:
ris A,B och C)	1) ja 2) Ja+ /Nej	1) Nej 2) Ej jämförbart	1) Ja 2) Nej	1) Nej 2) Ej jämförbart
lanvillkor C)	1) Ja 2) Ja+		1) Ja 2) Ja	
eordrad lan A och B)	1) Ja 2) Ja		1) Ja 2) Ja	

+) Måluppfyllelsekravet kan i dessa fall råka bli tillgodosett som en strikt olikhet.

Fig. 23 Beslutsformernas tillgodoseende av konsistenskraven

De tre beslutsformerna kan vidare ge upphov till betydande skillnader i omfattningen av den information som i beslutsfasen förutsättes överföras mellan CE och respektive LE.

Vid beslutsformen pris kan CE vid tolkning C ange samma prisvektor p^t av dimensionen 1xm till samtliga LE. Prisvektorerna vid tolkning A: c_j^{rt} och tolkning B: c_j^{at} är dock olika för varje LE. CE måste i dessa fall för varje LE ange en prisvektor av dimensionen $1xn_j$. Informationsöverföringens omfattning är i dessa senare fall densamma som beslutsformen beordrad plan ger upphov till (se nedan).

Beslutsformen planvillkor kräver att varje LE tilldelas en uppsättning planvillkor avseende respektive LE:s planbeslut. Dessa villkor, $\hat{a}_j^t$, normalt olika för varje LE, utgörs av kolumnvektorer av dimensionen mxl. Informationsöverföringen ökar därför här jämfört med prisvektorn p^t men är av mindre omfattning än ifråga om de två övriga prisvektorerna om $\sum_{j=1}^{n} n_j > mn$, d v s om totala antalet aktiviteter är större än antalet gemensamma restriktioner multiplicerat med antalet LE.

Den tredje beslutsformen, beordrad plan, innebär att CE för varje LE anger det planerade aktivitetsnivåprogrammet $\hat{x}_j^t$, vilket utgörs av kolumnvektorer av dimensionen $n_j xl$. Om sålunda $\sum_{j=1}^{n} n_j > mn$ inbegriper även denna beslutsform en mer omfattande informationsöverföring än i föregående fall.

Vad till sist beträffar de alternativa beslutsformernas styrande effekt så skulle följande karakteristik kunna göras. Vid beslutsformen pris lämnas LE att på egen hand fatta respektive planbeslut mot bakgrund av en given målfunktion och blott vägledda av de av CE fastställda priserna. Ett sådant förfarande kan rubriceras som en form av "målstyrning". Beslutsformen planvillkor har i stället drag av "ramstyrning" eftersom de angivna villkoren uppenbarligen bildar gränser för respektive LE:s handlingsutrymme. Beslutsformen beordrad plan torde slutligen kunna karakteriseras som "programstyrning", d v s en direkt styrning, eftersom LE:s roll i detta fall reducerats till enbart mottagande och effektuerande av det av CE specificerade planbeslutet. (Se vidare Ramström, 1970, sid 66-67)

9.4 Temporala beslutsaspekter

DW-planeringen är statisk och endast definierad för en viss tidpunkt; d v s det slutliga planbeslutet härrör ifrån en given problemformulering med punktestimat av ingående parametrar. Om något av de förhållanden som problemformuleringen avbildar förändras kan denna förändring implicera en ny slutlösning med nya planbeslut.

I sammanhang av praktisk betydelse krävs emellertid att de fattade planbesluten äger giltighet under en tidsperiod. Man skulle kunna hävda att dylika temporala aspekter på planbesluten faller utanför vårt intresseområde eftersom vi i princip utesluter de moment av planeringsprocessen som följer efter det att planbesluten fastställts. Mot bakgrund av att temporala problem dock ter sig mycket betydelsefulla vid en tillämpning av DW-planeringen skall vi ändå nedan kortfattat diskutera några sådana.

Ett betydelsefullt temporalt problem utgörs av den ovan antydda nödvändigheten att fastställa planperiodens längd. Detta problem anknyter till den traditionella diskussionen angående relationen mellan kortsiktiga och långsiktiga planeringsmodeller. Det finns ett flertal kortsiktiga produktionsplaneringsmodeller, enperiodiska[1] eller flerperiodiska[2], men alla utgår ifrån givna kapacitetsbegränsningar. Långsiktiga planeringsmodeller å andra sidan syftar vanligen till att bestämma de långsiktiga kapacitetsförhållandena genom att behandla frågor om investering och finansiering. Sambandet mellan den kortsiktiga produktionsplaneringen och den långsiktiga investeringsplaneringen är dock ömsesidigt, d v s för att kunna avgöra hur mycket som skall investeras när måste klargöras på vilket sätt investeringen skall användas i produktionen och för att kunna fastställa produktionsprogrammet måste man veta investeringarnas storlek. Denna ömsesidighet har ej tillfredsställande beaktats i existerande planeringsmodeller där man vanligen antingen utgår från givna

---

1) Olika typer av enperiodiska kortsiktiga produktionsplaneringsmodeller återfinns i t ex Baumol (1965) eller Dantzig (1963).

2) Flerperiodiska kortsiktiga produktionsplaneringsmodeller har utvecklats av bl a Damon & Schramm (1972), Hannsmann & Hess (1960) och Holt et.al. (1960).

kort- eller långsiktiga förhållanden.[1]

Lösningen av det grundläggande temporala problemet att simultant optimera både produktions- och investeringsbesluten innefattas ej inom ramen för DW-planeringen där vi i stället får antaga att de kortsiktiga planeringsbesluten anpassas efter en på annat sätt framtagen given långsiktig investeringsplan.[2] Ett sådant antagande är dock ej tillräckligt för att tillfredsställande lösa periodlängdsproblemet. Trots att man kan anpassa planperioderna efter givna kapacitetsförändringar kan externa förändringar såsom prisändringar och efterfrågeskift motivera ett avbrott av en pågående planperiod.

En rationell behandling av periodlängdsproblemet kräver således såväl en överblick av hela problemformuleringen som en kontinuerlig uppdateringsverksamhet och en värdering av registrerade förändringar. Detta krav överensstämmer ej med de tidigare givna grundförutsättningarna för DW-planeringen vilken förutsättes kunna hantera situationer med spridd informationsfördelning där varken CE eller någon av LE har tillgång till hela problemformuleringen. Periodlängdsproblemets lösande ställer tydligen krav på kompletterande informationsutbyte mellan LE och CE vid sidan av den som genereras inom ramen för DW-planeringen.

Även om man på ett tillfredsställande sätt lyckas lösa periodlängdsproblemet återstår vanligen ändå någon form av sekvensieringsproblem. Sådana problem kan både ses som en följd av problemformuleringens statiska egenskaper och en brist på de-

---

1) Se dock Burton & Damon (1973) och Moag & Lerner (1969) vilka försöker tillgodose behovet av planeringsmodeller för simultant beaktande av såväl kortsiktig produktionsplanering som långsiktig investeringsplanering.

2) Burton & Damon (1973) utnyttjar dock Kornai & Liptáks (1965) dekompositionsalgoritm för att lösa sin modell för simultant beaktande av produktion och investering. Dantzig & Wolfe (1960, sid 109-111) samt Dantzig (1963, sid 466-469) ger även en variant av DW-algoritmen där denna utförs som ett rekursivt flerstegssystem vilka

> "... often arise in the study of processes through time in which the activities of one period are directly connected with those of the preceeding and following periods but with no others." (Dantzig, 1963, sid 466).

Denna rekursiva applikationsidé av DW-algoritmen har senare utvecklats av Glassey (1973).

taljutformning vilken vanligen är nödvändig för hanterlighet. Även förekomsten av sekvensieringsproblem reser krav på ett utökat informationsutbyte mellan de olika organisationsenheterna.

9.5 Sammanfattning

I avsnitt 9.2 uppställdes två konsistenskrav på det slutliga planbeslutet. För det första fann vi det rimligt att kräva att de slutliga planerna skall vara genomförbara m a p de gemensamma restriktionerna eftersom man annars kan hävda att samordningsproblemet ej fått någon tillfredsställande lösning. För det andra fann vi det rimligt att slutplanerna ger minst samma måluppfyllelse som det sista mastermålvärdet.

I avsnitt 9.3 konstaterade vi inledningsvis att de tre alternativa beslutsformernas tillämplighet avgjordes av valet av tolkningsvariant. Beslutsformen pris kan tillämpas vid alla tolkningar medan beordrad plan endast kan användas vid tolkning A och B och planvillkor endast är tillämpbar vid tolkning C. Den följande analysen av beslutsformerna visade att dessa inte alla uppfyllde konsistenskraven. Beslutsformen pris visade sig icke alltid uppfylla kraven vare sig det gäller en trunkerad eller optimal lösning. I beslutsfasen kan dock draget av prismekanism vidmakthållas genom att prisinformationen kompletteras med andra uppgifter och genom en omvandling av LE:s subproblem till ickelinjär form. Beslutsformen planvillkor befanns dock alltid tillgodose konsistenskraven och visades även vid fall av trunkering kunna resultera i ett målvärde som överstiger det sista mastermålvärdet. För beslutsformen beordrad plan konstaterades att LE i detta fall endast har att utföra det av CE fattade planbeslutet. Om så sker är därmed även konsistenskraven tillgodosedda. De tre beslutsformerna befanns även ställa skilda krav på informationsöverföringens omfattning. En gängse uppfattning torde härvidlag vara att en prismekanism har klara fördelar. Några entydiga belägg för att så även i detta sammanhang skulle vara fallet stod dock ej att finna. Prisvektorerna vid tolkning A och B är istället

av samma omfattning som en beordrad plan där värdet på varje LE:s beslutsvariabel specificeras. Prisvektorn vid tolkning C har samma omfattning som informationen planvillkor där emellertid prisvektorn har den fördelen att den är densamma för samtliga LE.

I det avslutande avsnittet 9.4 konstaterade vi, i en utvikning från vårt egentliga problemområde, att temporala beslutsaspekter inte särskilt väl går att förena med DW-planeringens grundförutsättning om spridd informationsfördelning. Denna DW-planeringens omförmåga delar den dock med flertalet existerande planeringsmodeller vilka vanligen ej förmår beakta ömsesidiga beroendeförhållanden mellan kort- och långsiktiga beslut.

10. INCITAMENT

10.1 Kapitelöversikt

I detta kapitel undersöks möjligheterna att inom ramen för DW-planeringen söka skapa ett belöningssystem vilket skall ge incitament för de lokala befattningshavarna att följa de i DW-planeringen ingående reglerna.

I avsnitt 10.2 berörs inledningsvis behovet av att söka skapa nämnda incitament. Efter vissa förenklande antaganden om konstruktionen av ett belöningssystem diskuteras därefter vilka belöningsbaser som genereras inom DW-planeringen. Därvid påpekas dels möjligheten att undersöka konsistensen i de översända meddelandena och dels möjligheten att använda olika resultatmått. Med utgångspunkt ifrån vissa förenklande antaganden diskuteras därefter på vilket sätt respektive LE kan avvika från de uppställda reglerna.

I avsnitt 10.3 analyseras dels de totala resultatmåtten, z^M och z^r, och dels de lokala resultatmåtten z_j och z_j^r. Detta sker genom att resultatmåtten tolkas i ekonomiska termer samt genom att inverkan av regelavvikande på respektive resultatmått analyseras. Kapitlet avslutas med en diskussion om vilka kombinationer av resultatmått som kan vara lämpliga att använda som belöningsbas i ett belöningssystem.

10.2 Allmänt

Tidigare avsnitt har behandlat DW-algoritmen betraktad som en uppsättning regler för prisstyrd kortsiktig planering i en decentraliserad organisation. Dessa regler kan knappast väntas bli efterlevda genom sin blotta existens. Därför riktas i detta avsnitt intresset mot belöningssystem för att skapa incitament hos de lokala befattningshavarna att i planeringsverksamheten följa de angivna reglerna. Dylika belöningssystem påfordrar även vissa kontrollmöjligheter för att upptäcka avsteg ifrån reglerna. Detta för att man skall vara i stånd att individuellt belöna, och där-

med ge incitament till, god följsamhet efter reglerna.[1]

Förekomsten av ett adekvat belöningssystem (och/eller sanktionssystem) kan hävdas vara en förutsättning för realiserandet av organisationens mål. De lokala befattningshavarnas beslutsbeteende kan beskrivas så att de inom ramen för sin målstruktur maximerar sin egen nyttofunktion. Här kan givetvis en målkonflikt föreligga där individuella lokala befattningshavare i stället för att följa de angivna reglerna, vilket leder till maximering av organisationen mål, inriktar sig på egna, avvikande mål.[2]

---

1) Ovanstående argumentering baserar sig på Arrow´s definition av "organizational control". (Arrow, 1963, sid 3)

> "... I wish to set forth some considerations on one aspect of the working of an organization - how it can best keep its members in step with each other to maximize the organization´s objective function. This may be referred to as the problem of organizational control. It divides itself naturally into two parts: the choice of operating rules instructing the members of the organization how to act, and the choice of enforcement rules to persuade or compel them to act in accordance with the operating rules.
>
> ... it should be noted that enforcement, here as elsewhere, includes both the detection and the punishment of deviations from the operating rules." (Arrow, op.cit.)

2) Kriebel & Lave (1969) genomför en liknande analys av incitamentsproblematiken utifrån samma antagande om förekomst av målkonflikter.
Även Marglin (1969, sid 72-77) behandlar problem med incitament i ett sammanhang liknande DW-planering.

Ett idealt belöningssystem bör vara så utformat att full kompensation uppnås så att en lokal befattningshavare, genom att fatta sådana beslut som maximerar hans egen nyttofunktion, kommer att bete sig som om han maximerar organisationens mål.[1]

De kompenserande belöningarna kan vara av skilda slag där allt som kan tänkas åsättas ett värde enligt en individs nyttofunktion kan komma ifråga. Mest uppenbart ter sig kanske belöningar i monetära termer men även olika typer av väsentligen icke-monetära belöningar såsom befordran, intressantare arbetsuppgifter, intern utbildning, bekantgörande av goda insatser etc. torde kunna värderas positivt av enskilda befattningshavare. I det fortsatta särskiljer vi ej olika typer av belöningar.

Vårt huvudintresse i resten av detta avsnitt är att söka skapa en referensram för diskussion av i vad mån den inom DW-planeringen genererade informationen kan användas för beräkning av sådana belöningsbaser som kan ge de lokala befattningshavarna incitament att följa de givna reglerna. I avsnittet genomförs vidare ett principiellt resonemang som främst syftar till att framta relevanta frågeställningar till de simuleringsexperiment gällande fusk som genomförs i del IV.

---

1) Ett helt annorlunda angreppssätt på detta problem hade varit att tillämpa ett beteendevetenskapligt synsätt genom att fastslå att motivation måste skapas för det önskade slaget av beteende (maximering av organisationens mål) hos de individuella befattningshavarna. Relationen mellan motivation och beteende är emellertid omtvistad. Somliga författare som undersökt sambandet mellan motivation och prestation synes vara ur stånd att finna någon positiv korrelation mellan dessa, (se exempelvis Stedry, 1964) medan andra hävdar att ett sådant samband föreligger (se exempelvis Likert, 1961). Åter andra framhåller att denna positiva korrelation endast skulle föreligga upp till en viss nivå (se exempelvis Hertzberg, Mausner & Snyderman, 1959). Vroom (1964, sid 204-209) utgår även ifrån denna sistnämnda ståndpunkt och argumenterar, mot bakgrund av en genomgång av tidigare experimentella erfarenheter, för att sambandet mellan motivation och prestation snarast kan beskrivas med en inverterad U-kurva där man således efter en viss uppnådd motivationsnivå skulle erhålla en negativ korrelation mellan motivation och prestation.

Denna i och för sig nyanserade beteendevetenskapliga ansats förs ej vidare i den följande framställningen.

Skapandet av ett belöningssystem kan i princip sägas innefatta två avgöranden, nämligen dels vilken belöningsbas och dels vilken belöningsfunktion som skall komma till användning. I detta avsnitt avses med belöningsbas den indikator som används för att avgöra i vad mån respektive LE följt de uppställda reglerna. Med belöningsfunktion avses sambandet mellan belöningsbas och belöning (ev. sanktion).

I det följande antas att belöningsfunktionen utformas så att belöningen är monotont tilltagande med belöningsbasen. Belöningsbasen kan därvid tänkas anta även endast diskreta värden. Vidare antas att beslutsfattarnas nyttofunktioner är så beskaffade att nyttan är monotont tilltagande med belöningen. Vad gäller beslutsfattarna resonerar vi som om dessa önskar maximera sin nytta.

Vilka möjligheter finns då för CE att avgöra i vad mån respektive LE följer de uppställda reglerna eller med andra ord vilka tänkbara belöningsbaser existerar? Rent allmänt bör framhållas att CE:s möjligheter här är starkt begränsade vilket följer av att den i problemformuleringen ingående informationen förutsätts uppdelad på olika enheter samt att ett visserligen väl preciserat men begränsat informationsutbyte föreskrivs. Den information som CE kan tänkas utnyttja för denna form av kontroll indelar vi enligt följande:

1. Inom DW-planeringen genererad information.

   Kan användas för

   a. Teknisk kontroll av från respektive LE översänd information

   b. Framtagande av olika resultatmått

2. Annan information.

   Används för sådan form av kontroll som ej kan utföras inom ramen för DW-planeringen.

Punkten 1 a innebär att CE kan tänkas få kännedom om att reglerna icke följs genom att LE översänder inkonsistenta meddelanden.[1]

---

1) Detta kan exempelvis gälla antagandet om konvexitet och linjäritet.

Vi skall dock icke vidare analysera denna möjlighet då vi konstaterar att även LE har tillgång till samma information, nämligen de från respektive LE översända meddelandena, och har alltså samma möjlighet att utföra denna form av kontroll. Detta ger LE möjlighet att utforma meddelanden så att CE ej på detta sätt kan få vetskap om avvikelser ifrån reglerna. Vid omedvetet regelavvikande från LE:s sida, vilket kan uppstå exempelvis på grund av oförmåga att följa de uppställda reglerna, kan dock denna form av kontroll vara verkningsfull.

Den ovan antydda "tekniska" kontrollmöjligheten 1 a kan sägas utgöra den enda kontrollmöjlighet som genereras inom ramen för DW-planeringen. För att på annat sätt utnyttja den till CE översända informationen för kontroll krävs tillgång till någon form av jämförelsematerial mot vilket den översända informationen och den därav följande masterlösningen kan jämföras. Inom ramen för det informationsutbyte som föreskrivs vid DW-planering genereras inget sådant jämförelsematerial vilket medför att respektive LE i princip kan åsätta de till LE knutna delarna av problemformuleringen helt godtyckliga värden utan att CE kan avslöja detta. Tillgång till information under punkt 2 ovan utgör således en förutsättning för varje annan form av kontroll än den ovan nämnda tekniska kontrollmöjligheten.

Då vårt huvudintresse gäller de kontrollmöjligheter som genereras inom ramen för DW-planeringen inriktas den följande framställningen mot möjligheten att använda olika resultatmått som belöningsbas. Detta kräver som ovan påpekats tillgång till ytterligare information.Vi väljer att icke spekulera i vilken ytterligare informationsinsamling som kan vara lämplig att vidta i anslutning till DW-planeringen. Istället inför vi följande förenklande antaganden. Vi antar att den från LE översända informationen kontrolleras mot motsvarande utfall under utförandefasen. Då vi ej heller avser att beröra frågeställningen hur därvid uppkomna avvikelser kan hänföras till tillståndsavvikelser och/eller regelavvikelser nöjer vi oss med att behandla det helt deterministiska och statiska fallet.

På vilket sätt kan då LE under dessa antaganden avvika från reglerna? Eftersom LE ej känner vilka punkter inom de av respektive LE översända lösningsutrymmet $S_j, j = 1,\ldots,n$, som kommer att gälla som slutliga planer kan LE icke förvränga översänd information då denna kan komma att kontrolleras under utförandefasen. Den enda möjlighet till regelavvikelse som återstår för LE blir således att undanhålla information från CE d v s att begränsa sina respektive lösningsmängder S_j, $j = 1,\ldots,n$.[1] Detta kan ske genom förändringar i respektive B_j och/eller b_j. Med utgångspunkt från tidigare exempel kan detta exempelvis innebära att LE räknar med för låga högerled i typ 1-restriktioner (olika tillverkningskapaciteter etc) eller för höga högerled i typ 2-restriktioner (olika slags minimigränser). Denna form av regelavvikelse, d v s undanhållande av lösningsmängder, benämnes i det följande fusk.[2]

I det följande undersöks således enbart vilka möjligheter som finns att genom användande av olika resultatmått ge respektive LE incitament att avstå från fusk. Detta betraktar vi som en central frågeställning eftersom det kan anses föreligga en rad motiv för respektive LE att medvetet genomföra denna form av regelavvikelse. Här kan nämnas dels rena "bekvämlighetsskäl" och dels möjligheten att denna form av fusk leder till att dualpriserna (p^t) sänks. Det senare kan leda till att de lokala resultatmåtten z_j^r, vilka LE under iterationsfasen satts att maximera, kan förbättras.[3]

10.3 Resultatmåtten

Vid analysen av resultatmåtten utgår vi ifrån följande två egenskaper som vi betraktar som utmärkande för en ideal belöningsbas.

1. Belöningsbasen bör anta ett lägre värde om undahållande förekommer än om det icke förekommer. En form av samvariation som därvid ter sig tilltalande är att belöningsbasen sjunker i samma takt som totala måluppfyllelsen minskar.

---

1) Detta måste dock ske på ett sådant sätt att antagandet om linjäritet uppfylls.

2) Jämför Jennergren (1971) där denna form av regelavvikelse benämnes "cheating".

3) Detta behandlas utförligare nedan.

2. Möjlighet bör finnas att utifrån ett framkommet värde på belöningsbasen avgöra i vad mån undanhållande förekommit, d v s möjlighet bör föreligga att skilja på bra och dåliga värden på belöningsbasen.

Om beslutsfattaren endast beaktar den nytta som följer av belöningen krävs i princip endast att egenskap 1 skall vara uppfylld. Om däremot beslutsfattaren upplever och beaktar skillnader i nytta som följer av valet av olika planer, exempelvis nytta av att ej utnyttja kapaciteten maximalt, tillkommer även krav på egenskap 2. I sådana situationer uppstår nämligen behov av att utforma belöningen så att denna storleksmässigt står i en rimlig proportion till undanhållandet och därav följande nytta. Eftersom belöningarna måste fördelas till de olika lokala enheterna och icke endast som en klumpsumma till samtliga dessa bör vidare ovan nämnda egenskaper gälla för varje enhet.

Inom ramen för DW-planeringen genereras 4 olika resultatmått vilka kan tänkas komma till användning som belöningsbas.[1]

Totala resultatmått:

$$1)\quad z_t^M = \sum_{j=1}^{n} z_{jt} = \sum_{j=1}^{n} c_j \hat{x}_j^t \qquad 10.1$$

$$2)\quad z_t^r = \sum_{j=1}^{n} z_{jt}^r = \sum_{j=1}^{n} (c_j - p^t A_j)\, \hat{x}_j^t \qquad 10.2$$

Lokala resultatmått:

$$3)\quad z_{jt} = c_j \hat{x}_j^t \qquad 10.3$$

$$4)\quad z_{jt}^r = (c_j - p^t A_j)\, \hat{x}_j^t \qquad 10.4$$

Vid beräkningen av resultatmåtten 2 och 4 görs korrigering med hänsyn till respektive LE:s effekt på de gemensamma restriktionerna vilket däremot icke sker vid beräkning av resultatmåtten 1 och 3.

---

1) Dessa kan framräknas av CE oavsett vilken av tolkningarna A-C som avses.

Eftersom vi antagit säkerhet etc är storheterna c_j, A_j; $j = 1,\ldots,n$; givna varför resultatmåtten enbart bestäms av de valda värdena på respektive x_j; $j = 1,\ldots,n$; samt för resultatmåtten 2 och 4 även av värdet på p^t. Vad kan då med utgångspunkt från detta generellt sägas om effekten av undanhållande på belöningsbaserna? Om minst en LE undanhåller lösningsmängd begränsas det totala lösningsutrymmet. Eftersom den totala lösningsmängd som då erhålles utgör en delmängd av lösningsmängden innan undanhållande inses att

$$\sum_{j=1}^{n} c_j \hat{x}_j^{o} \geq \sum_{j=1}^{n} c_j \hat{x}_j^{oF} \quad [1] \qquad 10.5$$

d v s totala måluppfyllelsen vid optimum, Z^{oM}, vilken ingår i resultatmåtten 1 och 2, blir oförändrad eller försämras. Av detta följer att undanhållande icke är önskvärt ur CE:s synvinkel.

Ovanstående samband gäller dock ej säkert om iterationsfasen trunkeras. Vid trunkering kan eventuellt den förändring av lösningsmängderna som undanhållandet innebär ha medfört att konvergensegenskaperna förändrats så att $\sum_{j=1}^{n} c_j \hat{x}_j^{t}$ överstiger vad den skulle ha blivit vid motsvarande antal iterationer och utan undanhållande. I detta avsnitt resonerar vi därför med utgångspunkt ifrån att iterationsprocessen ej trunkeras.[2] Detta får ses mot bakgrund av att vi i detta avsnitt främst syftar till att skapa en referensram samt redovisa vissa överväganden vilka senare lägges till grund för simuleringsexperimenten gällande fusk i del IV. I simuleringsexperimenten blir självfallet en trunkering av iterationsfasen aktuell.

Hur påverkas då p^t av undanhållande? Det ligger nära till hands att förvänta sig att inskränkningar i de lokala lösningsmängderna skall medföra att de gemensamma restriktionerna blir mindre begränsande och att absolutvärdet av dualpriset därmed skall sjunka. Med utgångspunkt från totala problemformuleringens

---

1) Beteckningen F används i det följande för att ange att ett värde framkommit när minst en LE undanhållit lösningsmängd.

2) Av praktiska skäl har vi dock valt att i resterande del av kapitlet icke särskilt markera att optimum avses.

dualformulering kan dock lätt inses att absolutvärdet av de enskilda dualpriserna såväl kan öka som minska.[1] Hur väl effekten på p^t kan uppskattas av de olika LE beror naturligtvis på vilken information som finns tillgänglig hos dessa. Om en viss LE antas ha tillgång till hela problemformuleringen kan visas att denna LE kan undanhålla lösningsmängder på ett sådant sätt att resultatmåttet z_j^r maximeras.[2] Enligt gjorda antaganden besitter dock ingen LE denna fullständiga information. Även om vi utgår ifrån tolkning C där LE antas ha kännedom om respektive c_j och A_j samt vidare inför det enligt vår mening rimliga antagandet att respektive LE förutom A_j känner vilka typer av restriktioner som A_j avser kan LE icke med säkerhet uttala sig om ens riktningen av eventuella förändringar i dualpriserna.[3]

I den följande framställningen belyser vi i förut nämnd ordning de olika resultatmåttens egenskaper vid användning som belöningsbas. Detta sker genom att de olika måtten först tolkas i ekonomiska termer. Därefter undersöks på vilket sätt de olika måtten påverkas av undanhållande av lösningsmängder.

z^M

Tolkning. Totala måluppfyllelsen för företaget som helhet.

Inverkan av undanhållande. Som redan påpekats gäller för detta resultatmått att $\sum_{j=1}^{n} c_j \hat{x}_j^o \geq \sum_{j=1}^{n} c_j \hat{x}_j^{oF}$

I inledningen till detta kapitel påpekades att regelavvikelser från LE:s sida kunde betraktas som en följd av målkonflikter. Om samtliga LE önskar maximera den nytta som följer av erhållen belöning uppstår vid användning av detta resultatmått ingen målkonflikt.

---

1) I dualformuleringen utgörs målvektorn av primalformuleringens högerled. Om ett element i denna minskas kan mycket väl ett till ett annat element hörande variabelvärde (dualpris) stiga i dualformuleringens optimallösning.

2) Se Jennergren (1972, sid 122-130).

3) Även detta kan inses av dualformuleringen.

z^r

Tolkning. Totala måluppfyllelsen med avdrag (ev.tillskott)för den del av totala måluppfyllelsen som är att hänföra till de gemensamma restriktionerna.[1]

Detta avdrag som alltså endast gäller de gemensamma restriktionerna kan antingen tecknas $\sum_{j=1}^{n} p^t A_j \hat{x}_j$ eller också som $p^t a$ eftersom de högerled vilka icke uppfylls som likheter erhåller dualpriset noll. Om avdrag skedde för samtliga restriktioners andel av totala måluppfyllelsen skulle givetvis det erhållna resultatmåttet alltid bli noll. Skillnaden mellan z^M och z^r utgörs således av den till de gemensamma restriktionerna hänförliga delen av måluppfyllelsen. Denna skillnad kan således betraktas som ett mått på de gemensamma restriktionernas betydelse och därmed även på betydelsen av samordningen mellan enheterna. Om endast gemensamma restriktioner blir begränsande blir $p^t a = z^M$ d v s $z^r = 0$ och nämnda skillnad maximal. Om däremot enbart lokala restriktioner blir begränsande blir $p^t a = 0$ och $z^M = z^r$ d v s ingen skillnad erhålles.

Inverkan av undanhållande. Resultatmåttet består av två termer nämligen $\sum_{j=1}^{n} c_j \hat{x}_j$ och $-\sum_{j=1}^{n} p^t A_j \hat{x}_j$.

Den första av dessa samvarierar med undanhållande på samma sätt som föregående resultatmått. För den andra termen gäller dock att denna såväl kan tillta som avta till följd av undanhållande av lösningsmängder. Detta följer av det ovan påpekade förhållandet att absolutvärdet av p^t såväl kan tillta som avta. Eftersom respektive LE icke har tillgång till all information, exempelvis a och A_j för övriga LE, kan de icke på förhand beräkna denna effekt.

Det är dock rimligt att förvänta sig att inskränkningen av de lokala lösningsmängderna tenderar att göra de lokala restriktionerna mer och de gemensamma restriktionerna mindre begränsande. Detta leder till att den del av totala måluppfyllelsen som enligt dualteorin är att hänföra till de

---

1) Att dualpriserna kan tolkas som marginella värdet av tillskott till högerleden samt att dualformuleringen ur vilken dualpriserna erhålls kan tolkas som gällande att fördela den uppkomna måluppfyllelsen mellan de olika restriktionerna är välkänt inom traditionell linjärprogrammering. Se Dantzig (1963, kap 6) samt även exempelvis Salkin & Kornbluth (1973, sid 118-136).

gemensamma restriktionerna minskar. Denna minskning av $\sum_{j=1}^{n} p^t a_j \hat{x}_j$ kan vara så stor att z^r ökar.

z_j

Tolkning. LE_j:s andel av totala måluppfyllelsen, z^M, när ingen hänsyn tas till de gemensamma restriktionerna.

Inverkan av undanhållande. Om LE maximerar denna belöningsbas leder detta till suboptimering utan hänsynstagande till de effekter som uppstår på de övriga enheterna via de gemensamma restriktionerna. Vid tolkning B och C där LE_j, $j=1,\ldots,n$ känner respektive c_j kan LE beräkna den belöningsbas d v s $c_j x_j$ som är förknippad med varje punkt inom lösningsmängden S_j. Om LE_j beskär lösningsmängden S_j så att endast den punkt som maximerar $c_j x_j$ meddelas maximerar LE_j således sin belöning.[1]

z_j^r

Tolkning. LE_j:s andel av z^r d v s totala måluppfyllelsen efter avdrag för den del av totala måluppfyllelsen som är att hänföra till de gemensamma restriktionerna.

Inverkan av undanhållande. I stort kan samma kommentarer göras här som under z^r dock med den skillnaden att eftersom detta är ett lokalt resultatmått beaktar respektive LE endast sin del av måluppfyllelsen. Därvid uppstår för respektive LE möjligheten att söka höja den egna belöningsbasen genom "suboptimering" d v s utan hänsyn till effekten på övriga LE:s belöningsbaser.

Som framgått av ovanstående har vi endast kunnat påstå att ett av de studerade resultatmåtten nämligen z^M minskar vid undanhållande (jfr. egenskap 1). För övriga mått har vi till och med påtalat möjligheten att respektive LE kan höja belöningsbasen genom att undanhålla lösningsmängder. Vad gäller rimligheten i resultatmåttens storleksordning (jfr. egenskap 2) konstaterades redan tidigare att för att kunna avgöra i vad mån ett resultatmått ger uttryck för ett "bra" resultat krävs information om vad resultatet borde ha blivit. Detta kräver ytterligare informationsinsamling vilket vi ej diskuterat. De olika resultatmåttens principiella innebörd har dock framgått av givna tolkningar.

---

1) Därvid kan dock problemformuleringen komma att helt sakna tillåten lösning.

Om beslutsfattarna endast beaktar nyttan av erhållna belöningar och om de tidigare införda förenklande antagandena antas gälla kan således hävdas att resultatmåttet z^M är att föredra som belöningsbas.

Vi betraktar dock de införda antagandena som mycket kraftiga förenklingar. Om dessa modifieras, exempelvis så att beslutsfattaren även antas beakta nyttan av andra konsekvenser än belöningen, talar en rad skäl för att även lokala resultatmått bör komma till användning. Vi skall därför nedan diskutera användningen av de fyra resultatmåtten på ett något mera nyanserat sätt.

Vid en inbördes jämförelse mellan de totala och de lokala måtten kan följande framhållas. Vid val mellan z^M och z^r ter sig z^M enligt vår mening fördelaktigare som belöningsbas. Detta mått har visats sjunka vid undanhållande medan den term $\sum_{j=1}^{n} p^t A_j \hat{x}_j$ som tillkommer i z^r kan tänkas både tillta och avta på grund av undanhållande. Visserligen kan z^r betraktas som ett mera "rättvisande" resultat för samtliga LE tillsammans eftersom den del av totala måluppfyllelsen som kan hänföras till de gemensamma restriktionerna avdragits men detta löser i sig icke problemet med avsaknaden av referenspunkt d v s svårigheten att avgöra huruvida ett framkommet resultatmått ger uttryck för undanhållande eller icke.

Vid val mellan de lokala resultatmåtten z_j och z_j^r ter sig z_j^r klart fördelaktigare eftersom respektive LE vid användning av z_j har tillräcklig information för att genom undanhållande av lösningsmängd maximera detta resultatmått. Visserligen kan vi tänka oss situationen där z_j^r ökar vid undanhållande men genom förekomsten av termen $p^t A_j x_j$ tvingas respektive LE att i alla fall ta någon hänsyn till effekten på övriga LE.

Ett totalt mått, z^M, och ett lokalt mått, z_j^r, kvarstår således. Något förenklat kan båda dessa belöningsbaser isolerade sägas ha de motsatta för- och nackdelarna. Det totala måttet ger vis-

serligen den eftersträvade samvariationen mellan undanhållande och belöningsbas (jfr. egenskap 1) men ger ingen ledning hur resultatmåttet skall uppdelas mellan olika enheter. Om detta sker helt schablonartat (exempelvis lika stor andel till samtliga LE) får alla LE oavsett om de undanhållit lösningsmängd eller ej samma belöning (jfr. egenskap 2). Detta kan medföra att respektive LE upplever sin inverkan på belöningsbasen som liten och ej beaktar denna. Särskilt aktuellt blir detta om LE förutom den av belöningen följande nyttan även upplever och beaktar nyttovariationer som kan vara förknippade med valet av olika produktionsprogram (exempelvis produktionsprogram som ej till fullo utnyttjar tillgänglig kapacitet).

Det lokala måttet är däremot relaterat till varje enhet och reagerar således mera direkt på respektive LE:s handlande och kan därför betraktas som mera "rättvisande" för den enskilda enheten (jfr. egenskap 2). Någon garanterad samvariation med undanhållande erhålles däremot icke (jfr. egenskap 1).

Med utgångspunkt från ovanstående anser vi att en kombination av dessa två mått är att föredra framför något av dessa isolerat. Genom att låta belöningsbasen utgöras av en lämplig vägning av dessa kan belöningsbasen i bästa fall samtidigt bli både tillräckligt väl knuten till en viss LE:s handlande och tillräckligt känslig för undanhållande.

Som framgått har vi i detta avsnitt dels framtagit en referensram för studium av viss typ av fusk och dels gjort vissa uttalanden gällande effekterna av fusk. Dessa uttalanden har dock främst gällt "förväntade tendenser" och inget har med säkerhet kunnat sägas om storleksordningen av dessa effekter. Vi konstaterar att effekterna av fusk torde vara starkt beroende av problemformuleringens struktur. En uppfattning om storleken av effekterna torde därför lämpligast erhållas genom experiment med problemformuleringar vilka återspeglar verkliga planeringsproblem. Ett sådan simuleringsexperiment genomförs i del IV.

10.4 Sammanfattning

I avsnitt 10.2 konstaterades inledningsvis behovet av att skapa incitament för de lokala befattningshavarna att följa de uppställda reglerna. Vissa förenklande antaganden om konstruk-

tionen av ett belöningssystem infördes varefter huvuddelen av kapitlet ägnades åt diskussion av olika inom DW-planeringen genererade belöningsbaser. Därvid konstaterades dels möjligheten att undersöka konsistensen i de översända meddelandena och dels möjligheten att använda olika resultatmått. Den förra kontrollmöjligheten bedömdes dock som mindre intressant då denna kunde utföras även av respektive LE. Användandet av olika resultatmått konstaterades kräva tillgång till sådan information som ej genererades inom DW-planeringen. På grund av detta infördes antagande om deterministiska och statiska förhållanden vilket medförde att CE kunde kontrollera översända meddelanden mot verkligt utfall. Vidare konstaterades att respektive LE trots dessa antaganden kunde avvika från reglerna utan att detta kunde kontrolleras av CE under utförandefasen. Denna möjlighet innebar att respektive LE undahöll delar av sina respektive lösningsmängder.

I avsnitt 10.3 analyserades de olika resultatmåttens egenskaper som belöningsbaser. Denna analys utgick ifrån två ideala egenskaper hos en belöningsbas nämligen att denna dels skall samvariera med nämnda undanhållande och dels skall ge möjlighet att avgöra i vad mån undanhållande förekommit.

Mot bakgrund av detta analyserades de fyra resultatmåtten z^M, z^r, z_j och z_j^r. Därvid konstaterades att endast z^M kunde sägas uppfylla kravet på samvariation med nämnda undanhållande. Att därav dra den slutsatsen att z^M är att föredra som belöningsbas ansåg vi dock som förhastat mot bakgrund av den starka förenkling som de införda antagandena innebar. Därför jämfördes de fyra resultatmåtten i en något mera nyanserad diskussion. Vid en inbördes jämförelse dels mellan de totala resultatmåtten och dels mellan de lokala resultatmåtten tedde sig därvid z^M respektive z_j^r som fördelaktigast. Dessa två mått kunde i stort sett sägas ha de motsatta för- och nackdelarna och en kombination av dessa förordades som belöningsbas. Avslutningsvis framhölls det lämpliga i att studera effekterna av fusk med hjälp av simuleringsexperiment.

11. AVSLUTNING: ERFARENHETER AV DEN TEORETISKA TILLÄMPNINGS-ANALYSEN

11.1 Kapitelöversikt

I avsnitt 11.2 markerar vi några betydelsefulla erfarenheter av tolkningen av DW-planeringens innebörd.

I avsnitt 11.3 betonas på liknande sätt några erfarenheter från analysen av de teoretiska förutsättningarna och begränsningarna för planeringsproblemets formulering.

I avsnitt 11.4 för vi fram några viktiga erfarenheter från analysen av planeringsprocessens utformning och egenskaper.

Avsnittet 11.5 utgör slutordet till tillämpningsanalysen. I detta slutord väljer vi ut och diskuterar några huvudelement i den genom tillämpningsanalysen skapade teoretiska referensramen för DW-algoritmens tillämpning som ett planeringsinstrument.

11.2 DW-planeringens innebörd

Analysen av DW-planeringens innebörd utfördes genom att från DW-algoritmen tolka regler avseende såväl planeringsproblemets formulering som själva planeringsprocessen.

Inledningsvis utvecklades den tidigare skisserade planeringstolkningen av DW-algoritmen. Därefter demonstrerades problemformuleringens tolkningsutrymme genom att innebörden i målfunktionen, gemensamma och lokala restriktioner diskuterades och exemplifierades. Därvid utfördes en typklassificering av samtliga tänkbara restriktioner i fyra kategorier vilka dels utnyttjades vid analysen av problemformuleringens tolkningsutrymme, dels även användes som utgångspunkt för diskussionen av olika startförfaranden. Vid analysen av problemformuleringens tolkningsutrymme visade vi att fenomen av vitt skilda slag kan inordnas i problemformuleringen och att man därför kan hävda att denna lämnar ett relativt frikostigt tolkningsutrymme.

Vidare fastställdes 12 olika tolkningar av planeringsprocessens iterationsfas varav vi urskiljde 3 huvudvarianter vilka i den

fortsatta framställningen betecknas tolkning A, B och C. Av de totalt 12 tänkbara tolkningsvarianterna av iterationsfasen synes blott 2 tidigare ha föreslagits av andra författare.

11.3 Planeringsproblemets formulering

Analysen av de teoretiska förutsättningarna och begränsningarna för planeringsproblemets formulering inleddes med en diskussion av allmänna formuleringsproblem som val av lämplig beskrivningsnivå och avgränsning av problemet. Härvid konstaterades att både avgränsning och beskrivningsnivå bör väljas så att DW-planeringens relativa fördelar utnyttjas.

Vid den följande analysen av linjäritetsantagandet diskuterades några tekniker som genom omformulering eller approximation åstadkommer kontinuitet, separabilitet samt uttryck av första graden. Vi fann dock att dessa tekniker främst bör appliceras på enstaka fenomen i problemsituationer som i övrigt väl kan inordnas i den linjära modellen. Därefter analyserades kravet på blockangulärit et. Sambandet mellan lämplighetskriterier för blockangulära problemformuleringar och organisatorisk design poängterades. En teknik som bygger på s k Booleska matriser angavs med vars hjälp en blockangulär formulering kan erhållas om en sådan existerar.

11.4 Planeringsprocessen

Analysen av planeringsprocessen inleddes med att vi betonade betydelsen av ett ingående studium av DW-algoritmens konvergensegenskaper samtidigt som vi även konstaterade en brist på publicerade beräkningserfarenheter. Vad gäller själva problemformuleringen fann vi att antalet gemensamma restriktioner var en särskilt kritisk faktor för konvergensegenskaperna. Vi fann även att ett i det närmaste asymptotiskt konvergensförlopp är karakteristiskt för DW-algoritmen. Därefter konstaterades att masterproblemets startlösning i hög grad kan påverka konvergensförloppet. Vid diskussionen av olika startförfaranden fann vi att det i allmänhet kan komma att krävas flera startförsök. Vidare styrkte vi lämpligheten i "multiple pricing"-modifikationen av DW-

algoritmen men fann mer långtgående modifieringar mindre väl motiverade.

Därefter behandlades skäl för och praktiska möjligheter att trunkera den iterativa planeringsprocessen. Inledningsvis konstaterade vi att förekomsten av bl a rörliga planeringskostnader kan motivera en trunkering. Vidare fann vi det fördelaktigt att söka komma till rätta med det komplicerade trunkeringsproblemet via förenklade beslutsregler; tumregler. Vi visade att vissa tumregler kan basera sig på en möjlighet att vid varje iteration göra en successivt allt bättre överskattning av målfunktionens maximala värde. Detta estimat bildade tillsammans med några andra enkla överväganden utgångspunkt för en avslutande genomgång av några tänkbara tumregler vid trunkering.

Vidare behandlades även den del av DW-planeringen som återstår när iterationsfasen avslutats. Först uppställdes två konsistenskrav på planbeslutet: kravet på tillåtlighet och kravet på måluppfyllelse. Den därefter följande analysen av de tre alternativa beslutsformerna visade att beslutsformen "pris" inte alltid uppfyllde konsistenskraven. Draget av prismekanism kunde dock vidmakthållas genom ytterligare informationsgivning till LE och genom en omvandling av LE:s subproblem till icke-linjär form. Vidare befanns beslutsformen ställa skilda krav på informationsöverföringens omfattning. Den gängse uppfattningen att en prismekanism har klara fördelar i detta avseende kunde ej entydigt beläggas vid en jämförelse mellan beslutsformerna. Vi konstaterade även att DW-planeringens oförmåga att beakta temporala beslutsaspekter delas med flertalet existerande planeringsmodeller.

Vi avslutade detta moment i vår tillämpningsanalys med att undersöka möjligheterna att inom DW-planeringens ram skapa ett belöningssystem för att ge incitament åt lokala befattningshavare att följa DW-planeringens regler. Mot bakgrund av vissa förenklande antaganden rörande belöningssystemets konstruktion konstaterades en brist på effektiva kontrollmöjligheter av översända meddelanden. Detta samtidigt som utnyttjandet av olika resultatmått i kontrollsyfte visades kräva information av en karaktär som ej genereras inom DW-planeringen. Vid ytterligare tillkomman-

de förenklande antaganden avseende deterministiska och statiska förhållanden visade sig LE:s möjligheter till regelavvikelse reduceras till undanhållande av sina respektive lösningsmängder. Därefter analyserades de olika resultatmåttens egenskaper m à p LE:s undanhållande. Därvid visade sig det oreviderade mastermålvärdet (z^M) vara överlägset övriga tre resultatmått. Vid en avslutande mer nyanserad diskussion förordades,i frånvaro av våra förenklande antaganden, en kombination av det oreviderade mastermålvärdet (z^M) och det reviderade lokala målvärdet (z_j^r) som mest intressanta belöningsbas vid en praktisk tillämpning.

11.5 Slutord

I introduktionen till tillämpningsanalysen har vi ovan deklarerat att vi sökt skapa en generell teoretisk referensram för tillämpning av DW-algoritmen som ett planeringsinstrument. Detta har åstadkommits genom en analys av DW-planeringens innebörd och teoretiska förutsättningar. Den därvid framkomna teoretiska referensramen bör givetvis betraktas som en sammanhängande helhet men vi vill ändå i detta sammanhang framhäva några individuella element av stor betydelse för DW-planeringens tillämpning.

För det första vill vi betona problemformuleringens stora tolkningsutrymme som torde vara av väsentlig betydelse vid en bedömning av DW-planeringens applikationsområde.

För det andra påminner vi om betydelsen av vår ovan genomförda typklassificering av restriktionerna vilken kan vara till stor hjälp såväl vid en karakteristik av den ekonomiska tolkningen och av olika problemformuleringar som vid fastställandet av lämpligt startförfarande.

För det tredje vill vi även hävda att vår specificering av det fullständiga planeringsförfarandet i DW-planeringen, där denna indelas i de tre faserna startfas, iterationsfas och beslutsfas, är ett nödvändigt klargörande för en praktisk tillämpning av DW-planeringen.

För det fjärde representerar de 12 alternativa tolkningsvarianterna av DW-planeringens iterationsfas en betydelsefull uppsättning planeringsalternativ vid DW-planering.

För det femte erinrar vi om våra slutsatser rörande DW-algoritmens konvergensegenskaper och att vi fann att särskilt antalet gemensamma restriktioner allvarligt kunde försämra dessa.

För det sjätte vill vi betona betydelsen av att vi uppmärksammat hur den iterativa planeringsprocessen lämpligen bör startas eftersom det föreligger en situation med spridd informationsfördelning.

För det sjunde påminner vi om motiven för och de praktiska möjligheterna att trunkera planeringsprocessen. Vår genomgång av tänkbara tumregler för en lämplig trunkering kan bidra till lösandet av detta komplicerade beslutsproblem.

För det åttonde vill vi även erinra om vår analys av den del av DW-planeringen som återstår när iterationsfasen avslutats, d v s beslutsfasen. Påvisandet av de tre beslutsformernas tilllämplighet som avhängig av val av tolkningsvariant i iterationsfasen samt deras egenskaper satta i relation till de två uppställda konsistenskraven utgör nödvändiga insikter innan en praktisk tillämpning av DW-planeringen kan komma ifråga.

Till sist vill vi tillika framhålla betydelsen av den företagna studien av möjligheten att inom DW-planeringens ram skapa ett belöningssystem för att ge incitament åt lokala befattningshavare att följa DW-planeringens regler. Den därav resulterande rekommendationen att som belöningsbas utgå från en vägning av ett totalt och ett lokalt målvärde skapar förutsättningar för att försäkra sig mot att respektive lokala befattningshavare i eget vinningssyfte fuskar på bekostnad av den totala planlösningens effektivitet.

11.6 Sammanfattning

Bland de i avsnitt 11.2 samlade erfarenheterna av tolkningen av DW-planeringens innebörd framhölls bl a vår typklassificering av problemformuleringens restriktioner samt klassificeringen av de 12 alternativa tolkningsvarianterna av planeringsprocessens iterationsfas.

I avsnitt 11.3 betonades såväl allmänna formuleringsproblem som för DW-algoritmen specifika formuleringskrav som linjäritet och blockanguläritet.

I avsnitt 11.4 markerades bl a erfarenheterna av DW-algoritmens konvergensegenskaper, lämpliga startförfaranden, lämpligheten och möjligheten att trunkera iterationsfasen, möjliga och lämpliga beslutsformer i beslutsfasen samt möjligheten att inom DW-planeringens ram ge incitament åt lokala befattningshavare att följa DW-planeringens regler.

I avsnitt 11.5 särskiljde vi avslutningsvis några få individuella erfarenheter av vital betydelse för DW-planeringens tillämpning. Dessa kan sammanfattningsvis sägas avse våra klassificeringar, startförfaranden, trunkeringsregler, beslutsformer samt incitamentsaspekter.

Del III

FALLSTUDIER

12 INTRODUKTION

12.1 Kapitelöversikt

Detta kapitel ger en introduktion till fallstudierna.

Avsnitt 12.2 ger en kortfattad litteraturanknuten referensram till begreppet fallstudier som en bakgrund till diskussionen av utformningen av våra tre fallstudier.

I avsnitt 12.3 anges fallstudiernas syfte och diskuteras och motiveras vårt tillvägagångssätt. I det senare avseendet berörs fallstudiernas design, valet av företag, datainsamlingen samt uppläggningen av redovisningen av de tre fallstudierna.

12.2 Allmänt om fallstudier

Fallstudier förekommer inom samhällsvetenskaperna och betecknar vanligen ett visst tillvägagångssätt att genomföra undersökningar. Fallmetoden kan beskrivas som följer:

> "Fallstudien är en form av empirisk undersökning, vars utmärkande kännetecken är att undersökningsobjekten studeras intensivt. Termen "intensivt" kan här beteckna t ex att varje undersökningsobjekt observeras ur ett flertal aspekter, att objekten observeras under långa tidsrymder eller att många typer av data insamlas från varje objekt. Det följer omedelbart att ökad intensitet inom en given resursram kommer att medföra minskad "bredd" eller "omfång" i en undersökning: färre objekt kan undersökas. Fallstudier karakteriseras alltså av att de omfattar få undersökningsobjekt. Det ringa antalet objekt skapar möjlighet till intensivt studium." Valdelin (1974, s. 42)

Ovan citerade definition av fallmetoden synes väl ansluta sig till den inom samhällsvetenskaperna förhärskande och vi tar den därför som utgångspunkt även för denna framställning.[1]

---

1) Liknande definitioner lämnas av Berg (1967, s.1), Karlsson (1961, s.446), Normann (1970, s. 50) och Selltiz et.al. (1967, s.60).

Vad gäller design av fallstudier urskiljer Normann (1970, s.51) två dimensioner: "tidsaspekt" och "antal fall". Ifråga om tidsaspekten görs en distinktion mellan ögonblicksstudier (snapshots) och processtudier och ifråga om antalet fall särskiljes ett och flera fall.

Olika syften kan föreligga vid fallstudier. Följande anges av Karlsson (1961, sid 446): a) förberedande, hypotessökande, b) studier av avvikande fall och c) deskriptiva och prediktiva studier.

Normann (Ibid., s.50) skiljer istället på fallstudier som utförs i deskriptivt syfte, för att skapa teorier och för att validera teorier.

Valdelin (Ibid., s.47-49) gör en liknande distinktion genom att särskilja "konstruktion" och "validering" i fallmetoden. Med konstruktiva undersökningar avses sådana

> "...vars syfte är att ge underlag för det reflektiva tänkande som kan utmynna i uppställandet av en hypotes." (Ibid., s.47-48)

Datainsamlingen vid fallstudier kan ske på flera olika sätt. Israel (1965, s.270) betonar att flera olika undersökningsmetoder kan komma ifråga: osystematiska observationer, ostrukturerade intervjuer, projektiva test, levnadsbeskrivningar och strukturerade, kvantitativa metoder.

Selltiz et.al.(1967) anger metoder som studium av existerande arkiv, ostrukturerade intervjuer eller deltagande observation.

Valdelin (Ibid., s.50-51) skiljer å ena sidan mellan individberoende ("subjektiva") och individoberoende ("objektiva") datagenererande metoder. Å andra sidan gör han en distinktion mellan kvalitativa och kvantitativa metoder samt hävdar att

> "...fallmetodens allmänna egenskaper inte lägger några begränsningar på vilken typ av datagenererande procedur som kan användas." (Op.cit., s.52)

I den följande diskussionen av våra tre fallstudiers syfte och tillvägagångssätt skall vi i tillämpliga delar utnyttja den ovan redovisade allmänna referensramen avseende fallstudier.

12.3 Syfte och tillvägagångssätt

En konfrontation av DW-planeringen med verkliga planeringsproblem i existerande företag torde vara ett mycket angeläget inslag i en studie av detta slag. Detta inte minst mot bakgrund av den tidigare påpekade bristfälliga empiriska anknytningen som karakteriserat den tidigare forskningen inom detta område.

I denna framställning ingår en sådan konfrontation i den tidigare beskrivna trattekniken där den generella tillämpningsanalysen från Del II ovan avgränsas och görs mer ingående i följande tre fallstudier. Samtidigt som man begränsar framställningen till att endast gälla tre specifika planeringsproblem erhålles en möjlighet att sänka beskrivningsnivån till ett mer detaljerat plan. Därvid används den tidigare utvecklade DW-planeringens terminologi parallellt med respektive företags planeringstermer. Genom att existerande företags planeringsproblem överförs i DW-planeringens problemformulering och att den iterativa planeringsprocessen beskrivs i situationsspecifika termer avser vi givetvis ytterst att bidra till vårt huvudsyfte att belysa DW-planeringens tillämpningsproblematik. Fallstudierna avses dock uppfylla en mer närliggande och direkt intention.

> Syftet med fallstudierna är att exemplifiera innebörden av DW-planeringen när denna konfronteras med verkliga planeringsproblem.

Detta är således ett deskriptivt syfte av explorativ karaktär. Ovanstående angivna syfte synes dock i en viss mening vara mer begränsat än vid fallstudier i allmänhet. Våra fallstudier avses enbart resultera i exempel, medan de i föregående avsnitt citerade källorna indikerar att man med fallstudier vanligen syftar något längre, till exempelvis uppställande av hypoteser, prediktion eller validering.

I nedanstående tre fallstudier avses således de tre exemplen i

sig utgöra det betydelsefulla bidraget. Genom fallstudierna kan man nämligen på ett konkret och tydligt sätt demonstrera hur situationsspecifika förutsättningar och komplikationer påverkar vår teoretiska referensram från Del II ovan. Betydelsen av en sådan empirisk anknytning blir uppenbar eftersom vi i fallstudierna visar att situationsbundna faktorer i verkliga planeringsproblem kraftigt kan påverka såväl problemformulering som planeringsprocess.

Vad gäller vårt tillvägagångssätt skall vi närmare kommentera följande punkter: fallstudiernas design, valet av företag, datainsamlingen samt uppläggningen av redovisningen av de tre fallstudierna.

Fallstudiernas design kan i de tidigare använda termerna rubriceras som ögonblicksstudier omfattande flera fall. Den exakta tidpunkten varierar något men hänför sig i huvudsak till förhållandena under första halvåret 1974 där annat ej anges.

Valet av företag har skett på ett relativt opretentiöst sätt i beaktande av vårt begränsade syfte. Då detta ej alls inbegriper några hypotestestande eller valideringsintentioner uppfyller vårt urval av företag få statistiska kriterier som på förhand kan uppställas på ett stickprov för att säkerställa generaliserbarhet till en totalpopulation. Här har det i stället gällt att inom relativt snäva praktiska ramar redovisa så belysande och mångsidiga exempel som möjligt. Valet av företag har således i hög grad styrts av vår med tiden utbildade mening om vilka typer av planeringsproblem som DW-planeringen lämpar sig för.

Det första urvalsunderlaget utgjordes av ett antal företag som via brev- och/eller personkontakt visat sig intresserade av vår undersökning. Från dessa företag inhämtades viss grundinformation mot bakgrund av vilken vi bedömde de tre valda företagen som lämpliga för en fallstudie. Samtliga valda tre företag kan karakteriseras som processindustrier. Förutom rent praktiska skäl som respektive företags allmänna inställning och villighet att avsätta tid och resurser till vår datainsamling använde vi givetvis vid vårt val av företag även vissa kriterier avseende själva planeringsproblemet. Exempel på sådana var:

- uppdelad verksamhetsstruktur
- samordningsbehov
- lämpligt för LP
- relativt okomplicerade och renodlade planeringsproblem.

Med kravet på uppdelad verksamhetsstruktur förstås att det finns ett antal enheter med egen verksamhet som bildar administrativt avgränsade enheter, resultatenheter, kostnadsställen etc. Samordningsbehovet indikeras av förekomsten av beroendeförhållande(n) mellan enheterna. Med lämplighet för LP avses i första hand möjligheterna till kvantifiering och värdering, linjäritet och hanterbarhet i en matematisk formulering. En inriktning mot okomplicerade och renodlade planeringsproblem upplever vi slutligen som en förutsättning för överskådlighet och klarhet i framställningen på ett relativt begränsat utrymme. Risk föreligger att den nödvändigtvis mer omständliga beskrivningen av komplicerade planeringsproblem i onödigt hög grad skulle skymma den principiella diskussionen.

Datainsamlingen har utförts med hjälp av intervjuer och dokument.

Intervjuerna genomfördes med befattningshavare i de tre företagen.[1] Intervjuerna kan rubriceras som ostrukturerade eftersom intervjuformulär ej användes utan endast en i förväg fastställd disposition för intervjun vilken även tillställdes intervjupersonen. I en del fall har kompletterande intervjuer genomförts.

Kompletteringen och kontrollen av den muntliga datainsamlingen via dokument har omfattat årsredovisningar, organisationsplaner, personaltidningar och andra internskrifter av liknande slag samt viss kemisk-teknisk facklitteratur.

I slutskedet av datainsamlingen gavs varje företag möjlighet att yttra sig över det sammanställda dataunderlaget beträffande rena faktafel samt nödvändiga kompletteringar.

Vid uppläggningen av redovisningen av de tre fallstudierna har vi av jämförbarhetsskäl eftersträvat en likformig behandling.

---

1) En förteckning över kontaktade personer återfinns i Bilaga 3 nedan.

Varje fallstudie inleds med en presentation av allmänna företagsdata. Därpå följer en beskrivning av planeringsproblemet i tekniska och ekonomiska termer. Denna beskrivning ger en bakgrund till den följande diskussionen av DW-planeringens utformning.

Med utgångspunkt från den tekniska-ekonomiska beskrivningen av planeringsproblemet skisseras därefter tänkbara utformningar av såväl DW-planeringens problemformulering som planeringsprocess. Därvid strävar vi framförallt efter att markera det tolkningsutrymme som varje fall lämnar. Jämfört med den tidigare generella analysen som utgick från en allmängiltig problemformulering måste vi i fallstudierna börja med att överföra det verbalt framställda planeringsproblemet till en viss blockangulär problemformulering. Här kan alternativa sätt att avgränsa planeringsproblemet ge upphov till olika blockangulära strukturer och därigenom ge DW-planeringen ett avsevärt tolkningsutrymme i varje enskilt fall. Av detta skäl inleds beskrivningen av DW-planeringens problemformulering med att vi urskiljer vilka aktivitetsgrupper eller enheter som planeringsproblemet inbegriper. Alternativa problemformuleringar framkommer därpå genom att dessa enheter grupperas i olika blockangulära strukturer.

I detta sammanhang diskuteras även lämplig variabeluppdelning vilken sammanhänger med val av beskrivningsnivå. Mot bakgrund av framställningens explorativa och kvalitativa karaktär kan givetvis inga entydiga svar ges på denna fråga, i stället skisseras några alternativa variabeluppdelningar och beskrivningsnivåer.

Ifråga om DW-planeringens planeringsprocess begränsar vi den mer detaljerade redovisningen till att i huvudsak utgå från en enda problemformulering av flera tänkbara. Av hanterbarhetsskäl beskrivs därvid de uteslutna alternativa processerna mer summariskt.

Vid beskrivningen av planeringsprocessen utgår vi från hur den enligt problemformuleringen erforderliga informationen kan tänkas vara fördelad på respektive enheter i varje särskilt fall. Därpå anger vi de tolkningsvarianter av DW-algoritmen som kan

komma ifråga.[1]

Varje fallstudie avslutas med en kortfattad jämförelse mellan DW-planeringen och respektive företags nuvarande planeringsförfarande avseende samma planeringsproblem.

Denna del med de tre fallstudierna avslutas med ett gemensamt kapitel där våra erfarenheter av fallstudierna summeras och diskuteras.

12.4 Sammanfattning

I avsnitt 12.2 gav en litteraturstudie vid handen att en fallstudie kan beskrivas som en intensivstudie av ett fåtal undersökningsobjekt.

I avsnittet 12.3 betonades att syftet med våra tre fallstudier med nödvändighet måste bli deskriptivt och av en begränsad, explorativ karaktär. I enlighet därmed gjordes valet av företag och datainsamlingen på ett relativt opretentiöst sätt. Redovisningen av de tre fallstudierna har av jämförbarhetsskäl gjorts så likformig som möjligt med en inledande beskrivning av respektive planeringsproblem i teknisk-ekonomiska termer följd av en omtolkning och analys av detta i DW-planeringens termer.

---

1) Se avsnitt 5.3 ovan.

13 AB IGGESUNDS BRUK

13.1 Kapitelöversikt

I avsnitt 13.2 görs en allmän presentation av det företag från vilket det studerade planeringsproblemet hämtats.

Planeringsproblemet beskrivs därefter i avsnitt 13.3

I 13.4 anges den principiella uppbyggnaden av problemformuleringar, vilka återspeglar detta planeringsproblem när avgränsning skett på något olika sätt.

I avsnitt 13.5 behandlas den principiella utformningen av DW-planeringen sådan denna kan tänkas upplagd med utgångspunkt från de presenterade problemformuleringarna.

I avsnitt 13.6 görs slutligen en kort presentation av nuvarande planeringsförfarande och några korta jämförelser med DW-planeringen.

13.2 Allmänt

AB Iggesunds Bruk är ett anrikt bruksföretag med huvudverksamheten grundad på produkter baserade på det egna skogsinnehavet. Koncernledningen och den i detta sammanhang studerade delen av verksamheten, kartongtillverkningen, är förlagda till orten Iggesund, strax söder om Hudiksvall i Hälsingland. 1973 var totalomsättningen ca 850 mkr varav kartongförsäljningen svarade för ca 250 mkr. Företaget hade samma år ca 4 900 anställda varav ca 350 i kartongtillverkningen.

Koncernens produkter utgörs förutom av skogsprodukterna cellulosa, kartong och trävaror även av kemiska produkter, handelsstål och stålmanufaktur.

Försäljningen av kartong sköts både av egna försäljningsbolag och agenter. Verksamheten är till betydande del inriktad på export, främst till Europa.

Iggesundskoncernen är organiserad i ett antal centrala funktionella enheter och ett antal resultatenheter uppdelade efter produkt/verksamhetsområde. Cellulosa/kartong bildar en sådan re-

sultatenhet vilken i sin tur är funktionellt organiserad i produktion, försäljning kartong, försäljning cellulosa och utveckling. Försäljning kartong består av fyra geografiskt skilda försäljningsregioner med separat resultatansvar.

Iggesunds kartongtillverkning startade 1963 när den första kartongmaskinen togs i bruk. 1971 utökades tillverkningskapaciteten med en andra kartongmaskin.

13.3 Planeringsproblemet

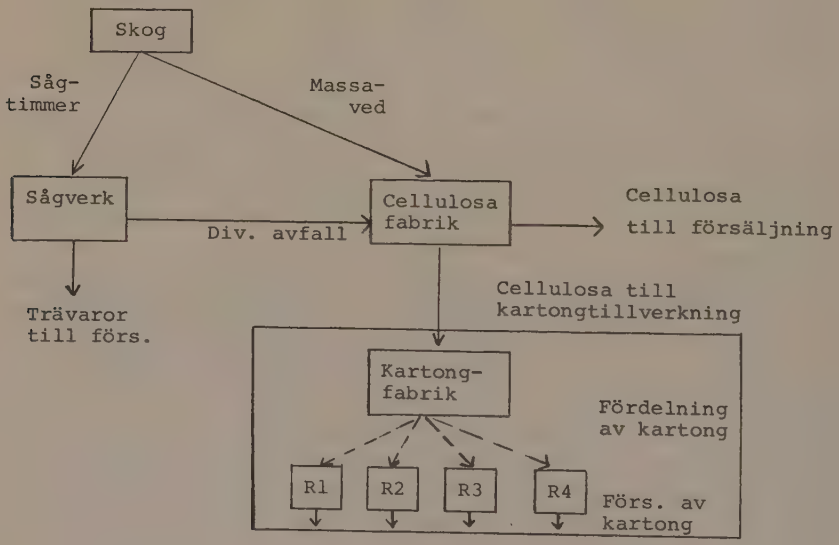


Fig. 24 Planeringsproblemet i Iggesund: översikt

Vi inleder beskrivningen av planeringsproblemet med en blick på kartongråvarans ursprung. Avverkad egen och köpt skog delas upp i sågtimmer och massaved. I sågverket uppstår diverse avfall och spill som tillsammans med massaveden utgör råvaran för cellulosatillverkningen. Cellulosan går därpå vidare till kartongtillverkningen. Överskjutande kvantiteter av cellulosa säljs. Kartongproduktionen fördelas på fyra försäljningsregioner (R1 - R4).

Regionerna sköter dock endast försäljningsverksamheten, de fysiska leveranserna sker i allmänhet direkt Iggesund - kund.

Det studerade planeringsproblemet avser den inringade delen av figur 24. I korthet kan planeringsproblemet sägas gälla samordning av produktion och försäljning av kartong. För hela kartongmarknaden gäller att efterfrågan under senare år varit större än utbudet. Detta förhållande är f n mycket starkt markerat. Härav följer att Iggesund har goda skäl att eftersträva en samordnad planering av sin kartongsektor.

Vi övergår så till en mer detaljerad beskrivning av detta planeringsproblem. Härvid beskrivs först kartongtillverkningen och därpå försäljningsregionerna och deras verksamhet.

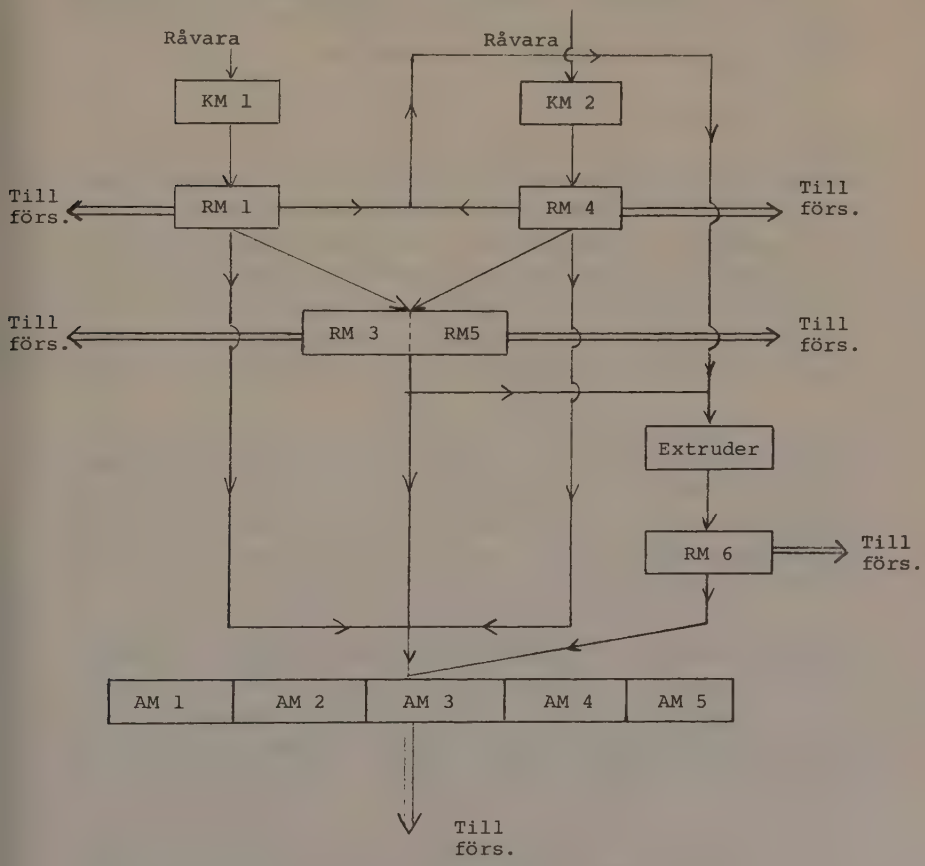


Fig. 25 Kartongtillverkningen

Kartongtillverkningen kan uppdelas i den egentliga kartongframställningen och efterbehandlingen. Kartongen framställs i två kartongmaskiner (KM 1 och KM 2) och rullas på två rullmaskiner (RM 1 och RM 4). I efterbehandlingen kan följande moment tillkomma: omrullning (RM 3 och RM 5), plastbeläggning (Extruder och RM 6) samt arkning (AM 1 - 5).

Råvaran till kartongtillverkningen utgörs av cellulosa samt vissa tillsatser. Cellulosan består både av långfibrig barrcellulosa och kortfibrig lövcellulosa. Cellulosan tas dels in i form av pumpad massa i flytande form och dels i form av torkad massa i balar vilka måste upplösas innan de används. Tillsatserna består av lera, färgämne och vissa kemikalier.

De två kartongmaskinerna framställer tre huvudkvaliteter: liner, foldcart samt invercote, varav liner är den minst och invercote den mest förädlade kvalitén. Invercote är även till skillnad från liner och foldcart bestruken med lera. För rengöring av kartongmaskinerna måste man producera en viss minsta andel av de obestrukna kvaliteterna. De tre kvaliteterna tillverkas i ett antal olika ytvikter. Vidare gäller att de två kartongmaskinerna har något olika prestanda. Direktförsäljning förekommer av den icke efterbehandlade kartongen.

Omrullning kan ske för att erhålla önskade dimensioner. Den omrullade kartongen kan säljas direkt eller gå vidare i efterbehandlingen. Plastbeläggning görs på en eller båda sidor. Härvid används antingen polyeten eller polypropylen. Den plastbelagda kartongen säljs direkt eller går vidare till arkning. Arkning kan ske av plastbelagd eller icke plastbelagd kartong.

För hela kartongtillverkningen gäller att kapaciteten i varje bearbetningsmoment varierar med produktkvalitet och ytvikt.

1973 producerade kartongfabriken ca 166 000 ton varav ca 27 000 ton var liner, 26 000 ton foldcart och 113 000 ton invercote.

	Försäljnings-region 1	Försäljnings-region 2	Försäljnings-region 3	Försäljnings-region 4
eo-rafisk vgräns-ing	Skand.board[1] export över-sjö	Skand.liner Island board[1] Östeuropa	UK + Irland Frankrike + Belgien Sydafrika Spanien + Portugal	Schweiz + Öster-rike + Italien+ Jugoslavien Holland Västtyskland Libanon
öre-rädare	GBG-kontoret	GBG-kontoret	Iggesund UK Harrison Lelong Millstream Iggesund Ibe-rica	ACP Driesens Iggesund Hamburg Karl Froh Grunberg

Fig. 26 Försäljningsregionernas geografiska avgränsning och företrädare

Region 1 och 2 företräds av två skilda administrativa avdelningar av Iggesunds Göteborgskontor. Region 3 och 4 företräds både av egna försäljningsbolag och agenter. De fyra regionernas verksamhet leds av var sin regionschef med resultatansvar. Som tidigare påpekats bedriver regionerna endast försäljningsverksamhet, de fysiska leveranserna sker i allmänhet direkt Iggesund-kund via järnväg eller fartygscontainer.

Vad gäller marknads- och prisförhållanden kan inledningsvis påpekas att kartongfabrikernas produktion fördelar sig på ca 550 kunder. Bland dessa kan tre huvudkategorier urskiljas: Linerkunder, kartongkunder och finpapperskunder. Linerkunderna köper endast liner och de två senare kategorierna köper invercote och/eller foldcart. I de två senare kundkategorierna sker kundindelningen efter kundens vidareanvändning av kartongen; kartonage betecknar kartong för förpackningar och dylikt medan finpapper står för kartong till trycksaker och dylikt. I dessa två senare kategorier förekommer en prisdifferentiering så att något högre priser tas ut av finpapperskunder. Förutom denna prisdifferentiering förekommer mängdrabatter.

1) Med board avses här de två kartongkvaliteterna foldcart och invercote.

Försäljningsmönstret karakteriseras av en relativt liten kvalitetsspridning per kund där man inte heller har särskilt stor spridning i olika ytvikter per kund. Vidare gäller att ett stort antal kunder har behov av en viss kvalitets/ytviktsmix som de regelmässigt efterfrågar vid varje inköpstillfälle.

13.4 DW-planering: Problemformuleringen

I det ovan presenterade planeringsproblemet urskiljer vi fem grupper av aktiviteter nämligen aktiviteterna inom kartongtillverkningen och inom de fyra försäljningsregionerna. Om dessa fem enheter betecknas K respektive R1 - R4 erhålles följande blockangulära struktur[1]

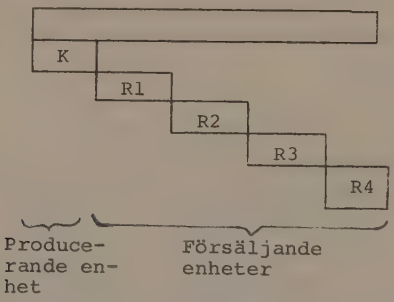


Fig. 27 Problemformulering 1: Iggesund

Problemformuleringen innehåller således en producerande och fyra försäljande lokala enheter. I denna formulering skall de gemensamma restriktionerna motsvara sambanden mellan dessa enheter och de lokala restriktionerna de inom respektive enhet föreliggande begränsningarna.

I problemformulering 1 ingår såväl producerande som försäljande enheter. Om vi även betraktar möjligheten att avgränsa problemformuleringen (och därmed planeringsprocessen) till att omfatta enbart producerande eller enbart försäljande enheter erhålles problemformuleringar med enbart dessa enheter som LE. Detta illustreras i fig. 28 respektive 29.För att denna avgräns-

1) Vi har således icke funnit det motiverat att införa en speciell LE för inköpsfunktionen. I den mån begränsningar föreligger gällande råmaterial etc antas dessa kända av CE.

ning skall vara möjlig krävs dock att de till de uteslutna enheterna knutna begränsningarna kan uttryckas som gemensamma restriktioner i de nya formuleringarna.

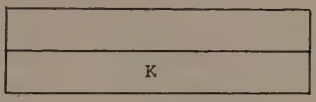


Fig. 28 Problemformulering 2: Iggesund

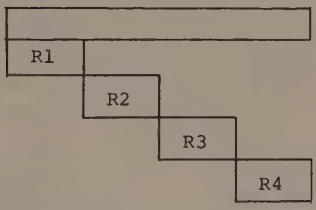


Fig. 29 Problemformulering 3: Iggesund

I det följande behandlas dock endast formuleringarna 1 och 3 eftersom problemformulering 2 icke kan sägas gälla samordning av planeringen mellan ett antal lokala enheter.

En annan möjlighet, istället för att som ovan betrakta en hel försäljningsregion som LE, vore att betrakta var och en av de i försäljningsregionerna ingående försäljningsbolagen och agenterna som egna LE. Detta skulle leda till 12 försäljande enheter Då den problemformulering och tolkning som detta skulle ge upphov till blir i det närmaste analog med den som erhålles när försäljningsregionerna utgör LE väljer vi att icke utförligt beskriva denna. Vissa invändningar kan även resas mot att betrakta agenterna som LE eftersom dessa icke formellt tillhör företaget.[1]

Vi övergår så till att närmare precisera uppbyggnaden av problemformuleringen 1.

---

1) Se dock avsnitt 19.5 nedan.

Problemformulering 1

Vi utgår därvid från valet av variabler och konstaterar att detta blir principiellt olika inom den producerande och de försäljande enheterna. Vad gäller den producerande enheten blir det för det första aktuellt med en uppdelning av variablerna på kvaliteter d v s enligt de tidigare angivna ytvikterna och efterbehandlingarna. Skillnader i kvalitet motsvaras av såväl skillnader i särkostnader som i kapacitetsanspråk. För det andra kan det vara motiverat att använda variabeluppdelningar, eller införa nya variabler, vilka ger uttryck för olika former av produktionsplanering som är nödvändig förutom fastställandet av själva produktionsprogrammet. Detta kan exempelvis gälla inköp av extern arkningskapacitet eller uppdelning av produktionsprogrammet på de två kartongmaskinerna. Det förra kräver införandet av en ny variabel medan det senare kräver att varje variabel som motsvarar sådana kvaliteter som kan tillverkas i båda kartongmaskinerna delas upp på två variabler, en för var och en av dessa maskiner. För det tredje kan det bli aktuellt att indela variablerna efter andra egenskaper i syfte att bättre kunna inordna de ingående sambanden i linjära uttryck. Detta kan gälla progressivt rörliga kostnader etc.[1]

Vid val av variabler inom försäljningsregionerna blir uppdelning på såväl kund som kvalitet aktuell eftersom båda dessa medför skillnader i bidrag. Det stora flertalet kunder köper dock kvaliteter i givna proportioner och för dessa krävs endast en variabel per kund. En sådan variabel får då motsvara den totala mängden försåld kartong till viss kund där försäljningen förutsätts överensstämma med dessa givna proportioner. Även här kan det i syfte att bättre kunna inordna sambanden i linjära uttryck vara motiverat att införa nya variabler. Detta kan bli aktuellt exempelvis för att beakta vissa former av mängdrabatter.

Som tidigare påpekats finns ingen möjlighet att med utgångspunkt från den givna kvalitativa beskrivningen välja "bästa" beskrivningsnivå och därmed ej heller att välja "bästa" variabeluppdelning. Problemformuleringen måste samtidigt vara dels tillräckligt hanterlig, ge tillräckligt goda konvergensegenskaper etc och dels utgöra en tillräckligt god avbildning av det problem som av-

1) Se avsnitt 6.3 ovan.

ses inordnas i formuleringen. I denna avvägning kan det visa sig att vissa indelningsgrunder icke tillräckligt starkt diskriminerar mellan de egenskaper som avses inordnas i problemformuleringen för att motivera att de används. I detta sammanhang bör även uppmärksammas möjligheten att använda uppdelningar på kvalitetsgrupper istället för kvaliteter, på kundgrupper istället för kunder etc. Vid en uppdelning på kundgrupper kan indelningen i finpappers-,kartonage- och linerkunder komma till användning.

I det följande resonerar vi med utgångspunkt ifrån att de till den producerande enheten knutna variablerna uppdelas såväl på kvaliteter som på de två kartongmaskinerna samt att de till de försäljande enheterna knutna variablerna motsvarar försäljning av viss kvalitetsmix till de olika kunderna.

I nedanstående figur framgår de i denna problemformulering ingående restriktionerna.

Max Z =	Totalt bidrag		
Gemensamma restriktioner	Överföringsrestriktioner För varje kvalitet: Överföring från K till R1 – R4 (2 st typ 3-restriktioner)[2]		
K:s restriktioner	1. Kapaciteten i KM 1[1] (Typ 1) 2. " i KM 2 (Typ 1) 3. " i RM 3 och RM 5 (Typ 1) 4. Kapaciteten i Extruder och RM 6 (Typ 1) 5. Kapaciteten i AM 1-5 (Typ 1) 6. Kravet på viss minsta andel Liner (Typ 4)[2] 7. Kravet på viss minsta andel Liner eller Foldcart (Typ 4)[2]		
R 1:s restriktioner		Maxgränser på den försäljning som varje variabel avser. (Typ 1) Mingränser på den försäljning som varje variabel avser. (Typ 2)[3]	
R 2:s restriktioner			Som R1
o s v			

Fig. 30 Restriktionerna i problemformulering 1: Iggesund

1) Beteckningarna från fig. 25 används.

2) Eftersom högerleden i dessa restriktioner utgörs av nollor kan dessa restriktioner klassificeras som såväl typ 3- som typ 4-restriktioner. Av praktiska skäl väljer vi dock att i det följande betrakta överföringsrestriktioner som typ 3 och restriktionerna 6 och 7 som typ 4.

3) Vi har således icke funnit det motiverat att medta någon restriktion avseende försäljningskapaciteten. Detta sker ej heller i något av de följande fallen.

Vi skall nedan kortfattat kommentera problemformuleringens olika delar.

Målfunktionen[1]

Eftersom målfunktionen avser maximering av totala bidraget skall målvektorerna $c_j, j=1,\ldots,5$ motsvara de särintäkter och särkostnader som är förknippade med de ingående variablerna. Dessa särintäkter och särkostnader måste således kunna betraktas som proportionellt rörliga.

Den målvektor som avser den producerande enheten utgörs av i produktionen uppkomna särkostnader korrigerade med smärre särintäkter uppkomna vid försäljning av olika former av spill etc. De målvektorer som avser de försäljande enheterna motsvaras av försäljningsintäkterna till respektive kund korrigerade med de särkostnader som uppstår vid försäljningen.[2]

De gemensamma restriktionerna

Dessa restriktioner skall motsvara överföringen av de olika kvaliteterna från den producerande till de försäljande enheterna. Till dessa kan eventuellt läggas restriktioner motsvarande olika former av policyöverväganden vilka kan inbegripa fler än en region. Detta kan exempelvis gälla max- eller mingränser på försäljningen till viss kundgrupp, av viss produkt etc. I det följande antar vi dock att endast restriktioner avseende överföringen av de olika kvaliteterna ingår.

Om den producerade mängden skall vara lika med den försålda mängden krävs för varje överförd kvalitet två stycken typ-3 restriktioner. Detta gäller även om begränsade lagringsmöjligheter föreligger.[3] Eftersom antalet olika kvaliteter uppgår till något över 200 kommer därmed antalet gemensamma restriktioner att överstiga 400.

---

1) I de tre fallen antar vi att företagen önskar maximera sin vinst och att detta uppnås genom maximering av bidragen. Vad gäller fallet Iggesund bör påpekas att även den linjära programmeringsmodell som konstruerats inom företaget gäller maximering av bidraget. (Se avsnitt 18.2 nedan)

2) I det följande kommer vi dock att i samtliga fall för enkelhetens skull resonera som om endast särkostnader uppstår i produktionen och endast särintäkter uppstår vid försäljningen.

3) Se avsnitt 5.2 ovan.

De lokala restriktionerna

Vi betraktar först den producerande enheten och konstaterar att de lokala restriktionerna i denna utgörs av de i produktionsanläggningen föreliggande begränsningarna. Till dessa kan läggas restriktioner avseende produktionsinriktningen vilka kan vara betingade av policyskäl eller liknande. Dylika restriktioner har dock icke medtagits i ovanstående problemformulering.

Av fig. 30 framgår vidare att någon restriktion gällande begränsad tillgång på cellulosa icke medtagits. Detta sker mot bakgrund av att kartongfabrikens behov av cellulosa först tillgodoses och att totala tillgången på cellulosa vanligtvis räcker till fullt kapacitetsutnyttjande i denna. Som framgått används dock såväl barr- som lövmassa och såväl balad som icke balad massa. Eftersom problemformuleringen avgränsats till att endast innefatta kartongtillverkningen ingår icke i denna frågeställningen om en bästa fördelning av de olika cellulosakvaliteterna mellan kartongtillverkningen och direktförsäljningen av cellulosa. För att i görligaste mån beakta denna problemställning kan den i kartongtillverkningen använda cellulosan prissättas till alternativkostnad d v s vad en direktförsäljning skulle ha givit. Denna bör dock korrigeras med hänsyn till skillnaderna i särkostnader mellan direktförsåld och i kartontillverkningen använd cellulosa. Bl a måste som tidigare nämnts den balade massan upplösas innan den kan användas i kartongtillverkningen.

Restriktionerna 1 och 2 avser den begränsade kapaciteten i KM 1 respektive KM 2. Vid fastställandet av koefficienterna i dessa restriktioner kan såväl KM 1 och RM 1 som KM 2 och RM 4 betraktas som en maskin. Eftersom kartongen måste passera såväl kartong- som rullmaskin blir den av dessa som för de olika kvaliteterna uppvisar den lägsta kapaciteten avgörande för de olika kvaliteternas kapacitetskrav. Motsvarande kommentar kan även göras gällande restriktion 4.

I restriktionerna 3 och 5 där ett antal maskiner betraktas som utbytbara bör självfallet respektive högerled ge uttryck för den inom maskingruppen totalt tillgängliga kapaciteten. Restriktio-

nerna 6 och 7 kan lämpligen formuleras så att de kvaliteter som betecknas som Liner respektive Liner och Foldcart ges positiva koefficienter medan de som icke gör detta ges negativa koefficienter. Om dessa koefficienter återspeglar de procentuella kraven kan högerledet skrivas ≥ 0.

De försäljande enheternas lokala restriktioner utgörs av max- och mingränser på försäljningen till varje kund. Dessa restriktioner avser således endast en variabel. Även här kan dock restriktioner införas vilka ger uttryck för olika former av policyöverväganden. Som exempel på ett sådant kan nämnas att en viss region ej önskar bli alltför beroende av en viss kundkategori.

Vid försök att karakterisera den ovan antydda problemformuleringen kan följande egenskaper,vilka kan bedömas vara av intresse vid en tillämpning av DW-planering,framhållas. Antalet gemensamma restriktioner vilka samtliga kan karakteriseras som typ 3-restriktioner uppgår till över 400. Tätheten i det gemensamma blocket är dock ej speciellt hög. Eftersom varje restriktion avser endast en kvalitet innehåller var och en av dessa endast två koefficienter skilda från noll i den producerande enheten (en för varje kartongmaskin). I de försäljande enheterna erhålles koefficienter skilda från noll endast för de variabler vilka motsvarar de kvaliteter som respektive restriktion avser. De lokala restriktionerna motsvaras för den producerande enhetens del av tekniska begränsningar och för de fyra försäljningsregionerna av marknadsbegränsningar. Dessa marknadsbegränsningar består endast av maxgränser (typ 1-restriktioner) och mingränser (typ 2-restriktioner) för varje variabel. I dessa block ingår således endast koefficienter skilda från noll på "diagonalen". Varje kolumn innehåller högst två sådana koefficienter. Eftersom vidare varje rad innehåller endast en koefficient skild från noll är tätheten den lägsta möjliga för den aktuella blockdimensionen.

Antalet variabler för den producerande enhetens del är lika med summan av det antal kvaliteter som kan tillverkas i KM 1 och det antal som kan tillverkas i KM 2. I de försäljande enheterna är an-

talet variabler något större än antalet kunder eftersom vissa kunder icke alltid kan förutsättas köpa samma produktmix.

Problemformulering 3

Vid beskrivning av denna problemformulering koncentreras framställningen på de skillnader som föreligger jämfört med problemformulering 1.

I fig. 31 framgår de i problemformuleringen 3 ingående restriktionerna när begränsningarna i den producerande enheten inordnats som gemensamma restriktioner.

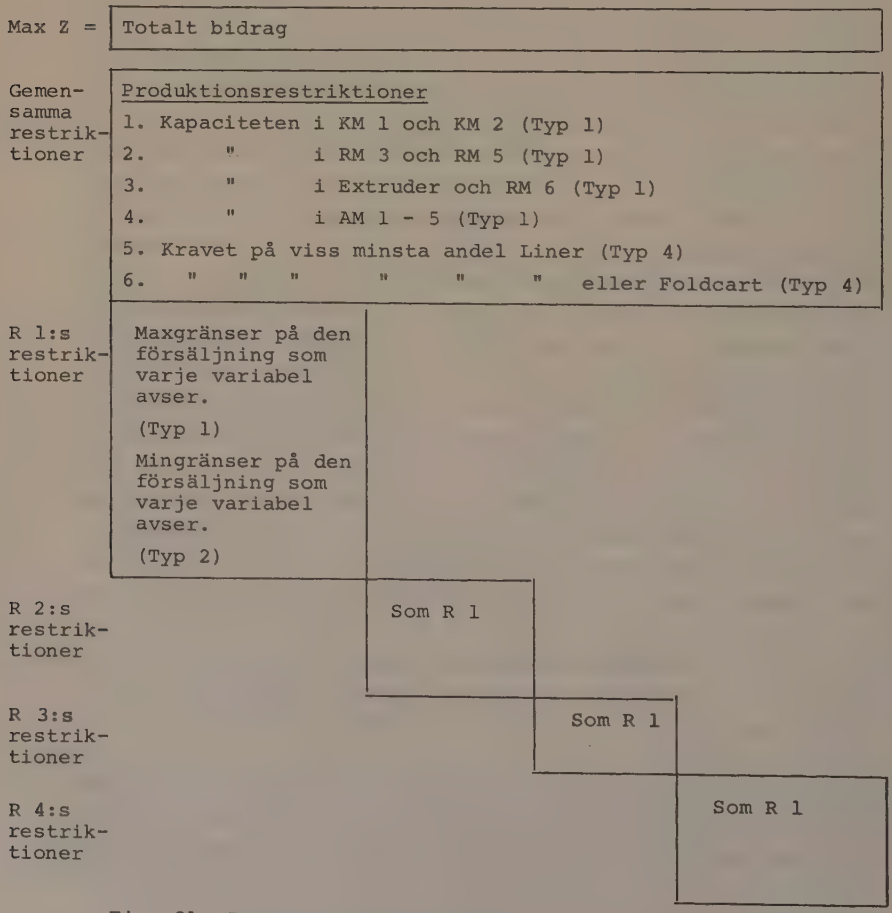


Fig. 31 Restriktionerna i problemformulering 3: Iggesund

Målfunktionen

I denna problemformulering har icke variablerna uppdelats på tillverkande och försäljande aktiviteter utan samtliga variabler motsvarar tillverkad och försåld mängd av viss kvalitetsmix till viss kund. Således erhålles här ingen uppdelning av målvektorerna på sådana som huvudsakligen motsvarar särkostnader respektive sådana som huvudsakligen motsvarar särintäkter. Målvektorerna skall i stället motsvaras av skillnader mellan samtliga särintäkter och särkostnader som är förknippade med produktion och försäljning av den kvalitetsmix som varje variabel avser.

De gemensamma restriktionerna

Eftersom denna problemformulering avgränsats till de fyra försäljningsregionerna utgår de restriktioner som i föregående formulering avsåg överföringen av de olika kvaliteterna. Sambanden mellan försäljningsregionerna utgörs nu av den begränsade kapaciteten i kartongtillverkningen. För att dessa begränsningar skall kunna inordnas som gemensamma restriktioner krävs att dessa kan uttryckas i variabler vilka motsvarar försäljningen till viss kund. Eftersom varje sådan kundvariabel innebär en viss känd kvalitetsblandning kan dock restriktionerna 3 t o m 7 i problemformulering 1 d v s samtliga utom kartongmaskinernas restriktioner uttryckas i dessa variabler. Restriktionerna 3 t o m 7 uttrycker, oberoende av variabler vilka ger uttryck för annan form av produktionsplanering än tillverkad mängd av respektive kvalitet, vilka kombinationer av tillverkade mängder av de olika kvaliteterna som är möjliga. Restriktionerna 1 och 2 däremot kan icke entydigt uttryckas i dylika variabler eftersom den möjliga produktionen är beroende av hur de olika kvaliteterna fördelas mellan kartongmaskinerna. Eftersom den producerande enheten icke ingår som en LE ingår ej heller olika former av till denna enhet knuten produktionsplanering. Således måste någon form av förenkling ske för att de båda kartongmaskinerna skall kunna inordnas som en gemensam restriktion. Detta kan ske genom att koefficienterna i vänsterledet beräknas som den genomsnittliga kapacitetsåtgången för de kvaliteter som kan tillverkas i båda kartongmaskinerna samt att högerledet utgörs av den samman-

lagda kapaciteten i de två kartongmaskinerna.[1] Vi har i det följande utgått ifrån att denna form av sammanslagning skett vilket bör ses mot bakgrund av att skillnaderna i de olika kvaliteternas resursanspråk i de två kartongmaskinerna icke har bedömts som särskilt stora.

De lokala restriktionerna vilka nu avser endast de försäljande enheterna har icke ändrats från problemformulering 1.

Vid jämförelse mellan problemformulering 1 och 3 bör för det första erinras om att problemformulering 3 erhållits genom att den producerande enheten icke betraktats som LE och att annan form av produktionsplanering än fastställandet av tillverkade mängder av respektive kvalitet därmed lagts utanför problemformuleringen. De lokala restriktionerna avseende de försäljande enheterna har därvid icke förändrats. Målvektorerna har förändrats något vilket berörts ovan. Den stora förändringen ligger i blocket av gemensamma restriktionerna vilket helt förändrat karaktär. Antalet gemensamma restriktioner har minskat från 400 till 6. Mot bakgrund av problemformuleringen 3:s övriga dimensioner bedömer vi de gemensamma restriktionernas antal som relativt litet. Vidare motsvarar de gemensamma restriktionerna i de två formuleringarna helt olika typer av samband. I problemformulering 1 motsvarar dessa restriktioner överföring av olika kvaliteter från producerande till försäljande enheter (typ 3-restriktioner). I problemformulering 3 däremot avser de fyra första restriktionerna förbrukningen av ett antal begränsade resurser (typ 1-restriktioner) och de två sista kravet på viss inriktning av produktionen (typ 4-restriktioner). Blocket av gemensamma restriktioner i formulering 3 har dock en högre tätnet. I restriktionerna 1, 5 och 6 är koefficienterna skilda från noll i samtliga kolumner. I restriktionerna 2-4 erhålles sådana koefficienter däremot endast för de variabler vilka motsvarar kvaliteter som efterbehandlas i de i dessa restriktioner inordnade maskinerna.

---

1) En annan möjlighet vore att i likhet med i problemformulering 1 dela upp variablerna på de två kartongmaskinerna. Detta skulle vara nödvändigt för samtliga de variabler vilka motsvarar produktmixer som innehåller minst en kvalitet som kan tillverkas i båda maskinerna. Att på detta sätt låta produktionsplaneringen gällande uppdelningen på de två kartongmaskinerna styras genom de försäljande enheternas val mellan kvaliteter tillverkade i den ena eller andra kartongmaskinen ter sig dock intuitivt mindre attraktivt och vi väljer att icke vidare utveckla detta.

I nästföljande avsnitt där planeringsprocessen uttolkas har vi valt att fullständigt behandla endast de planeringsprocesser som följer av problemformulering 3 och att endast kort antyda vilka planeringsprocesser som följer av problemformulering 1. Vi har nämligen av framställnings- och utrymmesskäl ansett det lämpligt att endast utgå från den ena av problemformuleringarna. Någon möjlighet att därvid med utgångspunkt från den ovan givna beskrivningen välja den "bästa" problemformuleringen finns självfallet icke. Valet av problemformulering 3 får dock ses mot bakgrund av att antalet gemensamma restriktioner i problemformulering 1 kan bedömas som mycket stort och att detta allvarligt kan försämra planeringsprocessens konvergensegenskaper. Vid högre beskrivningsnivå tenderar dock antalet gemensamma restriktioner att minska i problemformulering 1.

13.5 DW-planering: planeringsprocessen

Enligt föregående avsnitt väljer vi att utgå ifrån den problemformulering där begränsningarna i den producerande enheten inordnats som gemensamma restriktioner. Vi antar i detta avsnitt att den för uppställandet av dessa restriktioner nödvändiga informationen är känd av den centrala enheten (CE). För att få en uppfattning om vilka av de tidigare framtagna varianterna av DW-planering[1] som kan bli aktuella i detta fall skall vi först söka klargöra till vilken administrativ enhet som den i problemformuleringens olika delar ingående informationen kan vara knuten. Vi gör detta genom att i nedanstående uppställning ange vilken av de administrativa enheterna som i första hand kan tänkas ha kännedom om eller framta den information som är nödvändig i problemformuleringens olika delar. Variablerna antas även här återspegla försålda mängder av viss kvalitetsmix till viss kund.

Information	Enhet
Variabeluppdelningen	respektive LE
c_j: särintäkter	" "
c_j: särkostnader	CE

1) Se avsnitt 5.3 ovan.

A_j:	Kapacitetskrav i den gemensamma produktionsanläggningen samt tillskott till kraven på viss andel obelagda kvaliteter för respektive kvalitetsmix.	CE
a:	Tillgänglig kapacitet i den gemensamma produktionsanläggningen samt högerleden i restriktionerna gällande kravet på viss andel obelagda kvaliteter.	CE
B_j och b_j:	Marknadsbegränsningarna inom respektive region.	respektive LE

Enligt ovan antas variabeluppdelningen känd av främst de försäljande enheterna. Detta får ses mot bakgrund av att dessa känner såväl uppdelningen på kvaliteter som uppdelningen på kunder.

Som framgått av avsnitt 5.3 krävs för utförandet av samtliga 12 tolkningsvarianter av planeringsprocessen att a är känd av CE och att B_j och b_j är kända av respektive LE. Ovanstående informationsfördelning uppfyller detta. Resterande information d v s respektive A_j och c_j har som framgår till största delen hänförts till CE. Detta är en följd av att förhållandena i den gemensamma produktionsanläggningen förutsatts kända av CE. Som framgår blir därvid den i respektive c_j ingående informationen uppdelad så att särkostnaderna i produktionen antas kända av CE och särintäkterna vid försäljningen antas kända av försäljningsregionerna. Beroende på om särkostnaderna överförs till LE eller om försäljningspriserna överförs till CE har varje LE respektive CE möjlighet att beräkna bidraget. Om respektive c_j förutsätts känd av enbart CE eller av enbart LE blir tolkningarna A respektive B de enda möjliga. Om däremot såväl CE som respektive LE förutsätts ha kännedom om c_j kan tolkningarna 3 och 5 väljas. Som tidigare påpekats skiljer sig tolkningarna 3 och 5 endast marginellt ifrån tolkningarna A respektive B och vi väljer att ej vidare behandla dessa. Med utgångspunkt ifrån den tidigare givna kvalitativa beskrivningen av planeringsproblemet finns självfallet ingen möjlighet att välja den "bästa" av tolkningarna A och B. Vi konstaterar dock att försäljningsregionerna vid tolkning B kan sägas delta på ett mer aktivt sätt i planeringsprocessen än vid tolkning A. Som framgått av tidigare framställning i avsnitt 5.3 ligger skillnaden i dessa tolkningar främst i att såväl beräkningen

av de reviderade bidragen som av de framkomna försäljningsplanernas bidrag vid tolkning A ombesörjes av CE medan detta vid tolkning B ombesörjes av respektive LE. Eftersom dessa skillnader tydligt framgår av den tidigare framställningen väljer vi att endast behandla tolkning B.[1] I nedanstående figur återges innebörden i tolkning B tillämpad på det studerade samordningsproblemet. Med "beräkning" avses vilket beräkningsarbete som de olika enheterna har att utföra förutom lösandet av master- respektive subproblemen.

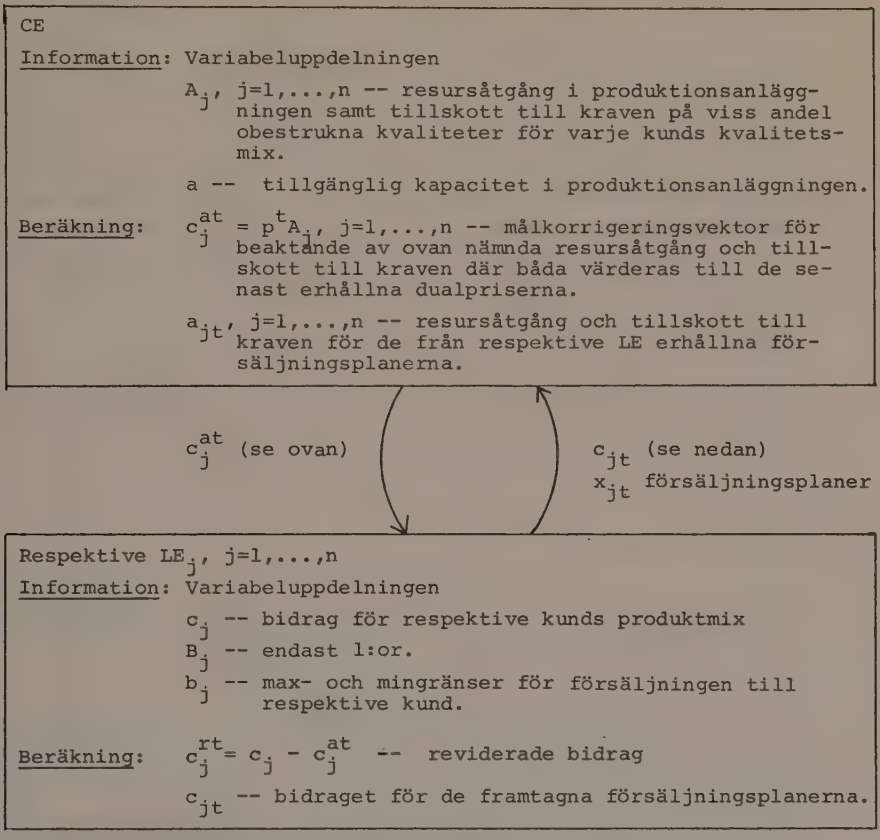


Fig. 32 Iterationsfasen i Iggesund, tolkning B

---

1) Se avsnitt 5.3 ovan.

Enligt tolkning B skulle således en iteration innebära att CE först översänder avdrag[1] för respektive variabels effekt på de gemensamma restriktionerna. Försäljningsregionerna beräknar därefter reviderade bidrag och framtar nya försäljningsplaner genom lösandet av subproblemen. Dessa försäljningsplaner samt det totalbidrag som dessa ger översändes därefter till CE som gör en ny sammanvägning. I fig. 32 har variabeluppdelningen även upptagits som tillhörande CE:s tillgängliga information. Det är därvid ej nödvändigt att CE erhåller uppgift om vilka kunder som respektive variabel avser.

Som tidigare påpekats kan tolkning B väljas om särkostnaderna förs över till försäljningsregionerna så att dessa kan beräkna bidraget. Observeras bör att denna överföring av särkostnaderna icke kan ske genom att dessa i varje iteration summeras till den aktuella målkorrigeringsvektorn, c_j^{at}. Om så sker kan visserligen de reviderade bidragssiffrorna framtas men LE får ej möjlighet att beräkna totala bidraget för den framtagna försäljningsplanen. Försäljningsregionerna måste således erhålla sådan information att särkostnaden för varje kunds produktmix kan beräknas. Detta uppnås om CE innan iterationsfasen översänder särkostnaderna för de olika kvaliteterna.

Som framgått består de till försäljningsregionerna knutna subproblemen enbart av ett antal variabler, deras bidrag samt max- och mingränser. Eftersom således inga restriktioner förekommer vilka innehåller fler än en variabel kan subproblemen lösas med någon förenklad variant av simplexmetoden där variablerna endast åsättes s k bounds.[2]

Subproblemens speciella struktur kan även sägas medföra att försäljningsregionernas deltagande i planeringsprocessen blir mindre aktivt. De framtagna försäljningsplanerna kommer att utgöras av dels variabler vilka givits sitt maximala värde och dels variabler vilka givits sitt minimala värde.[3] För de variabler som

---

1) Eventuellt subvention p g a existensen av de två typ 4-restriktionerna.

2) Detta förenklade lösningsförfarande kan innebära att variabler med negativt element i respektive c_j^r åsättes ett värde motsvarande mingränsen och att variabler med positivt element åsättes ett värde motsvarande maxgränsen.

3) Vi bortser då från specialfallet där variabler med reviderade bidraget noll kan ges ett godtyckligt värde mellan dessa gränser.

i de översända försäljningsplanerna endast givits ett värde vet CE att detta motsvaras av max- eller mingräns. För de variabler vilka givits olika värden känner CE såväl max som mingräns d v s samtliga de i subproblemen ingående restriktionerna avseende dessa variabler. Vad gäller variabeluppdelningen krävs dock endast att CE får kännedom om vilken produktmix som variabeln motsvarar och ej vilken kund denna avser.

Vi har ovan diskuterat de tolkningar som kan väljas om informationen om respektive c_j kan knytas till såväl LE som CE. Om även informationen om A_j antas kunna överföras till respektive LE uppstår möjligheten att välja samtliga av de i avsnitt 5.3 presenterade tolkningsvarianterna. Eftersom försäljningsregionerna känner vilken kvalitetsmix som respektive variabel motsvarar behöver endast varje kvalitets kapacitetsåtgång i de fyra typ 1-restriktionerna samt tillskott till de två typ 4-restriktionerna överföras för att försäljningsregionerna skall kunna beräkna A_j. Av de tolkningar som tillkommer om informationen om respektive A_j på detta sätt betraktas som överföringsbar skall vi endast beröra tolkningen C.[1] Detta sker med samma motivering som tidigare d v s att de tolkningsvarianter som för sitt utförande kräver dubbeltäckning av information endast marginellt skiljer sig från tolkningarna A, B och C. I nedanstående figur återges innebörden i tolkning C.

---

1) Denna tolkning kräver som framgått att respektive A_j är känt av enbart LE.

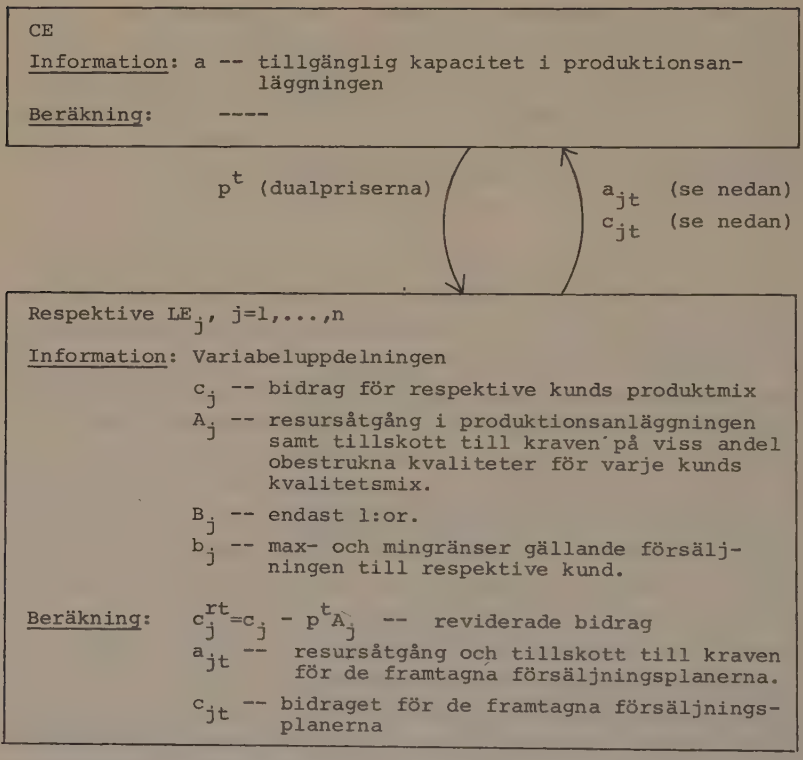


Fig. 33 Iterationsfasen i Iggesund, tolkning C

Enligt denna tolkning mottar således försäljningsregionerna dualpriser på de gemensamma restriktionerna d v s dels på maskinerna i den gemensamma produktionsanläggningen och dels på kravet gällande viss minsta andel obestrukna kvaliteter. Efter att genom lösande av subproblemen ha framtagit en ny försäljningsplan beräknar och översänder försäljningsregionerna vad dessa ger i totalt bidrag, vad de kräver av den gemensamma produktionskapaciteten samt vilket tillskott de ger till kraven på viss minsta andel obestrukna kvaliteter. Med utgångspunkt ifrån denna översända information genomför CE en ny vägning. Tolkning C innebär således att försäljningsregionerna får uppgift om vilken "hyra" de får betala bl a för sitt utnyttjande av de olika maskinerna i produktionsanläggningen och att de helt på egen hand har att framta de försäljningsplaner som efter avdrag för denna "hyra"

maximerar bidraget. Tolkning C medför således, jämförd med tolkning B, att en betydligt större del av planeringsprocessen överförs på försäljningsregionerna. Detta kan som framgått av del II medföra ett antal fördelar bl a gällande beteendemässiga aspekter. Med ökat deltagande för försäljningsregionerna och minskad informationsöverföring till CE ökar dock även möjligheterna för försäljningsregionerna att avvika från reglerna. Vid tolkning C får CE varken kännedom om de framtagna försäljningsplanerna eller den använda variabeluppdelningen.

Vi har således konstaterat att iterationsfasen i princip kan tänkas upplagd i enlighet med samtliga 12 tolkningsvarianter. Trots att vi icke ansett det möjligt att med utgångspunkt ifrån den givna kvalitativa beskrivningen av planeringsproblemet välja den "bästa" av dessa tolkningar utgår vi i den följande behandlingen av start- och beslutsfaserna ifrån tolkningarna B och C.

Enligt avsnitt 7.4 har CE att under startfasen söka förmå försäljningsregionerna att föreslå försäljningsplaner vilka kan användas för framtagande av en tillåten startlösning. Denna startlösning bör även vara "bra" i Z-termer. Startfasen blir här något beroende av vilken tolkning som tillämpas eftersom informationsfördelningen är olika samt att överförandet av prisinformationen sker på olika sätt. Vid tolkning B känner CE variabeluppdelningen, respektive A_j, a samt typ av restriktioner. CE kan således beräkna de med hänsyn tagen till de gemensamma restriktionerna tillåtna försäljningsplanerna. Vid tolkning C däremot känner CE endast a samt typ av restriktioner. Möjligheten för CE att med utgångspunkt ifrån kvalificerade gissningar exempelvis gällande priser till försäljningsregionerna söka styra dessa mot val av tillåtna planer bör således vara större vid tolkning B än vid tolkning C. Därtill kommer att möjligheterna att bedöma rimligheten i de avgivna priserna bör vara större vid tolkning B. Vid tolkning B beräknas och översändes c_j^{at} medan däremot p^t översändes obearbetat vid tolkning C.

Enligt den indelning som användes i avsnitt 7.4 består de gemensamma restriktionerna av "flera restriktioner av olika typ" nämligen typ 1- och typ 4-restriktioner. Enligt samma avsnitt kan svårigheter uppstå vid försök att genom avgivande av pris-

information erhålla en tillåten startlösning. Om endast typ 1-restriktionerna förelåg skulle CE genom angivande av mycket höga priser kunna förmå försäljningsregionerna att föreslå försäljning enbart till angivna minimigränser vilket nödvändigtvis skulle leda till en tillåten startlösning om en sådan existerar. Ett rimligt agerande från CE:s sida kan därför utgöras av att som första "gissning" avge mycket höga priser på typ 1-restriktionerna och låga subventioner (ev. noll) på typ 4-restriktionerna. De försäljningsplaner som därvid erhålles motsvaras av minimigränserna och CE kan då kontrollera om kraven på viss minsta andel obestrukna kvaliteter uppfyllts. Om så är fallet har en tillåten startlösning erhållits. Om kraven däremot icke är tillgodosedda kan CE som nästa "gissning" avge högre subventioner gällande typ 4-restriktionerna och fortfarande höga priser på typ 1-restriktionerna. På detta sätt kan CE stimulera försäljningsregionerna mot val av planer med allt mer obelagda kvaliteter. Eftersom de reviderade bidragen på detta sätt endast förbättras för belagda kvaliteter kommer endast sådana kvaliteter att tillföras lösningsförslagen. Kraven på obelagda kvaliteter är relativt låga och vi bedömmer därför möjligheterna som goda att innan kapaciteten i typ 1-restriktionerna blir begränsande kunna uppnå försäljningsplaner vilka uppfyller nämnda krav.

Vi övergår så till att behandla beslutsfasen. Vid val av tolkning B kan som framgått av avsnitt 9.3 beslutsformerna "priser" och "beordrad plan" väljas. Beslutsformen "priser" har dock som framgått av samma avsnitt uppenbara nackdelar. Denna kan exempelvis leda försäljningsregionerna mot val av sådana försäljningsplaner att de gemensamma restriktionerna ej uppfylls. Beslutsformen "planvillkor" skulle innebära att CE beordrar försäljningsregionerna att följa den ur sista masterlösningen framtagna försäljningsplanen.

Vid tolkning C kan beslutsformerna "priser" och "planvillkor" väljas. Vad gäller beslutsformen "priser" innebär denna vid tolkning C att CE meddelar de sist framtagna dualpriserna gällande de gemensamma typ 1- och typ 4-restriktionerna. I övrigt kan samma kommentarer göras som vid tolkning B. Beslutsformen "planvillkor" innebär att CE tilldelar respektive försäljningsregion

en viss mängd resurser hänförlig till de fyra typ 1-restriktionerna samt vissa krav gällande mängden obestrukna kvaliteter. Inom dessa "ramar" har respektive försäljningsregion sedan att välja den försäljningsplan som maximerar det egna bidraget utan hänsynstagande till övriga regioner.

Om vi bortser ifrån beslutsformen "priser", vilken har uppenbara nackdelar kan vid val av tolkning B och C således endast väljas beslutsformen "beordrad plan" respektive "planvillkor". Vid jämförelse mellan dessa har vi bland annat konstaterat att den förra kan sägas ge uttryck för mindre grad av decentralisering än den senare samt att den senare vid trunkering kan ge ett högre operativt målvärde än den i masterproblemet framtagna planen. Dessa skillnader torde tala för val av beslutsformen "planvillkor" vilket i så fall även talar för val av tolkning C under iterationsfasen.

Vi övergår så till att kortfattat antyda den planeringsprocess som kan erhållas med utgångspunkt ifrån problemformulering 1 (fig. 30).

Den för uppställandet av problemformulering 1 nödvändiga informationen kan i första hand tänkas fördelad enligt följande:

Information		Enhet
Variabeluppdelningen		respektive LE
c_j :	särkostnaderna i produktionen	" "
	särintäkten vid försäljningen	" "
A_j :	vänsterleden i överföringsrestriktionerna	" "
a :	högerleden i överföringsrestriktionerna	CE
B_j och b_j:	begränsningarna i produktionsanläggningen samt begränsningarna givna av marknaden	respektive LE

I denna informationsfördelning har således både c_j och A_j tillförts LE. Detta får ses som en följd av att både tillverkande och försäljande verksamhet flyttats ned på LE-nivå och att de gemensamma restriktionerna endast gäller överföring av de olika kvaliteterna. För bestämning av vänsterleden i överföringsrest-

riktionerna krävs förutom insikt om restriktionernas innebörd uppgift om vilken produktmix som respektive variabel i försäljningsregionerna avser. Detta är känt av försäljningsregionerna och ej av CE.

Endast informationen gällande vektorn a har knutits till CE. Denna utgörs dock endast av nollelement förutsatt att den tillverkade mängden av varje kvalitet skall vara lika med den försålda mängden. Om lagringsmöjligheter anses föreligga blir de gemensamma restriktionernas högerled skilda från noll. Dessa lagringsmöjligheter torde i så fall vara kända av den producerande enheten eftersom leveransen sker direkt från denna enhet till kunden. Information om dessa lagringsmöjligheter måste i så fall översändas till den centrala enheten.

Om informationen förutsättes uppdelad enligt ovan kan iterationsfasen endast utformas enligt tolkningen C. Detta skulle kortfattat innebära att CE vid varje iteration meddelar priser på samtliga kvaliteter till de lokala enheterna. Den producerande enheten framtar därefter med utgångspunkt från dessa priser nytt produktionsprogram. Detta, d v s uppgift om tillverkad mängd av respektive kvalitet, samt den särkostnad som detta medför, meddelas därefter till CE. De försäljande enheterna framtar på motsvarande sätt nya försäljningsplaner. Vad dessa innebär i försåld mängd av respektive kvalitet samt erhållen intäkt meddelas därefter till CE som kan genomföra en ny sammanvägning.

Observeras bör att de lokala enheterna får stor andel i denna planeringsprocess samt att CE för deltagande i ovanstående iterationsfas icke behöver ha någon information om planeringsprocessen förutom insikten att de gemensamma restriktionerna utgörs av typ 3-restriktioner. Om lagringsmöjlighet föreligger krävs dock som ovan påpekats att CE har kännedom om dessa. CE behöver således ej ens ha kännedom om det exakta antalet gemensamma restriktioner eller den variabeluppdelning som används av de lokala enheterna. Förekomsten av de s k överföringsrestriktionerna medför dock att CE får god kännedom om de framtagna planerna. Eftersom varje sådan restriktion endast avser en kvalitet kommer exempelvis den producerande enheten att vid varje iteration översända

den framräknade produktionsplanen i klartext. Detta utvecklas mera fullständigt i nästföljande kapitel där vi valt att utgå ifrån en problemformulering med överföringsrestriktioner.

Startfasen kan dock vid tillämpande av problemformulering 1 förväntas medföra vissa problem. Om lagringsmöjligheter saknas krävs att CE erhåller sådana förslag från de lokala enheterna att en sådan produktions- och försäljningsplan kan framvägas att exakt samma mängd produceras som säljs av varje kvalitet. Någon möjlighet att genom en enkel prissättningsprincip,i likhet med den under startfasen i anslutning till problemformulering 3, styra de lokala enheterna mot val av sådana planförslag kan ej framtas.

Eftersom tolkning C valts kan beslutsformerna "planvillkor" och "startpriser" väljas. Beslutsformen "planvillkor" skulle därvid innebära att CE meddelar vilken mängd av de olika kvaliteterna som respektive region skall sälja. Det enda som återstår för försäljningsregionerna blir således att avgöra hur denna mängd skall fördelas mellan de olika kunderna.

Vi har således funnit att den planeringsprocess som erhålles vid tillämpning av problemformulering 1 ger de lokala enheterna stor andel i planeringsprocessen såväl vad gäller beräkningsarbete som tillgång till information. Vidare konstaterar vi att tolkningen av planeringsprocessen, bl a att de lokala enheterna styrs via priser på de olika kvaliteterna, intuitivt ter sig meningsfull. Som ovan framgått bedömer vi dock antalet gemensamma restriktioner som stort och vidare har svårigheter antytts gällande startfasen.

13.6 DW-planering - nuvarande planeringsförfarande

Som underlag för en bedömning av likheter och skillnader mellan DW-planeringen och Iggesunds nuvarande planeringsförfarande gör vi en kortfattad karakteristik av det senare. Vid jämförelsen med DW-planeringen har vi urskiljt några väsentliga aspekter. Den första avser förekomsten av formaliserade/matematiska plane-

ringsmetoder, tekniker eller hjälpmedel. DW-planeringen som den beskrivits i denna framställning är ju till sin karaktär ett i högsta grad formaliserat planeringsförfarande som bygger på matematisk programmering. Som vi observerat ställs hårda krav på såväl planeringens dataunderlag som dess organisation och utförande. Om liknande formaliserade planeringsmetoder redan förekommer och är välkända av företaget kan ett utnyttjande av DW-planering te sig mer naturligt än annars.

För det andra anges i det följande om och i så fall hur internpriser tillämpas. I DW-planeringens start- och iterationsfas utnyttjas ju uteslutande prisinformation för vägledning av regionerna. På liknande sätt som ovan kan hävdas att om nuvarande planeringsförfarande inbegriper utnyttjande av internpriser kan steget till DW-planering vara mindre problematiskt än annars.

Slutligen diskuteras även i vilken mån det nuvarande planeringsförfarandet kan rubriceras som iterativt. DW-planeringens stegvisa justeringsprocess mot allt bättre planlösningar är en av dess mest framträdande och grundläggande egenskaper. Om man f n tillämpar någon form av iterativa planeringsförfaranden torde DW-planeringen möta större förståelse än när så ej är fallet.

Innan vi gör de ovan beskrivna jämförelserna skisseras emellertid Iggesunds nuvarande planeringsförfarande. Planeringen avseende produktion och försäljning av kartong grundar sig på en långsiktig marknadsplan. Den årsvisa försäljningsbudgeteringen utförs med hänsyn till marknadsplanen, kundönskemål och tillverkningskapacitet. Produktionsplaneringen grundar sig på försäljningsbudgeten, inkomna order och det detaljerade tillverkningsprogrammet.[1]

Förekomsten av formaliserade/matematiska planeringsmetoder i det nuvarande förfarandet är ej ringa. Vid Iggesund har sedan flera år pågått arbete med att konstruera en totaloptimeringsmodell i form av en linjär programmeringsmodell som inbegriper både cellu-

---

1) En mer detaljerad beskrivning av planeringen av produktion och försäljning av kartong vid AB Iggesunds Bruk finns i Fig.62, Bilaga 3.

losa- och kartongtillverkning.[1] En liknande LP-modell finns även över sågverksverksamheten. Därutöver tillämpas även vissa datoriserade scheduling-tekniker vid trimningen av det detaljerade tillverkningsprogrammet.

Internpriser utnyttjas endast i mycket ringa omfattning; utskottet från extrudern utnyttjas internt för tallrikstillverkning och prissätts därför liksom det även sker en prissättning av kartong för av PR-avdelningen utgivna publikationer.

Till sist torde man kunna hävda att nuvarande planeringsförfarande har betydande iterativa inslag. I budgetarbetets inledning förekommer ett stegvist tillvägagångssätt där regioncheferna framför sina respektive kunders önskemål till den centrala försäljningsledningen. Dessa sammanställs och jämförs med marknadsplan och tillverkningshänsyn varpå ett justerat förslag tillställs respektive regionchefer. Efter samråd med lokala representanter/kunder lämnar respektive regionchef ett nytt förslag till försäljningsledningen som slutligen fastställer respektive totalram för varje region. Sedan återstår fördelningen/kund inom varje region vilken utförs av regionchefen i samråd med de lokala representanterna.

Man kan således konstatera att det nuvarande budgetarbetet har vissa likheter med DW-planering men snarare kan rubriceras som iterativ ramallokering.

13.7 Sammanfattning

I avsnitt 13.2 gavs en allmän bild över AB Iggesunds Bruk; ett anrikt bruksföretag med produktion av bl a cellulosa vilken till viss del vidareförädlas till kartong.

I avsnitt 13.3 beskrevs planeringsproblemet. Produktionen av kartong sker uteslutande i en produktionsanläggning belägen vid huvudkontoret i Iggesund. Kartongen fördelas mellan fyra försäljningsregioner vilka handhar försäljningen. Det studerade plane-

---

1) Se även avsnitt 18.2 nedan.

ringsproblemet gällde såväl produktion som försäljning.

Vid formuleringen av planeringsproblemet i avsnitt 13.4 urskiljdes fem grupper av aktiviteter: en knuten till den producerande enheten och fyra knutna till försäljningsregionerna. Den principiella uppbyggnaden av två olika problemformuleringar behandlades: den ena med såväl den producerande som de försäljande enheterna som LE och den andra med enbart försäljande enheter som LE. I den förstnämnda av dessa förekom ett stort antal gemensamma restriktioner eftersom överföringen av varje kartongkvalitet från producerande till försäljande enhet krävde två sådana restriktioner. I problemformuleringen med enbart försäljande enheter som LE utgjordes däremot de gemensamma restriktionerna av de i den gemensamma produktionsanläggningen föreliggande begränsningarna vilka uttrycktes i endast sex restriktioner.

I avsnitt 13.5 där DW-planeringen uttolkades utgick vi ifrån problemformuleringen med enbart försäljande enheter som LE. Valet mellan de tidigare presenterade tolkningsvarianterna av DW-planeringen visade sig starkt beroende av om CE eller respektive LE antogs ha tillgång till den information i problemformuleringen som gällde den gemensamma produktionsanläggningen. Om all denna information antogs känd av respektive försäljningsregion kunde tolkning C väljas. Denna innebar att försäljningsregionerna vid varje iteration erhöll uppgift om dualpriserna ("hyran") på maskinerna i den gemensamma produktionsanläggningen. Efter framtagande av nya planer meddelade försäljningsregionerna vilka krav som dessa ställer på kapacitet i produktionsanläggningen samt vilka bidrag dessa ger.

I avsnitt 13.6 konstaterade vi att det i nuvarande planeringsförfarande finns vissa likheter med DW-planering, främst ifråga om iterativa planeringsinslag samt förekomsten av matematiska optimeringsmodeller.

14 KEMANORD AB

14.1 Kapitelöversikt

I avsnitt 14.2 görs en allmän presentation av det företag från vilket det studerade planeringsproblemet hämtats.

Planeringsproblemet beskrivs därefter i avsnitt 14.3.

I 14.4 anges den principiella uppbyggnaden av problemformuleringar vilka återspeglar detta planeringsproblem när avgränsning skett på något olika sätt.

I avsnitt 14.5 behandlas därefter den principiella utformningen av DW-planeringen sådan denna kan tänkas upplagd med utgångspunkt från de presenterade problemformuleringarna.

I avsnitt 14.6 görs slutligen en kort presentation av nuvarande planeringsförfarande och några korta jämförelser med DW-planeringen.

14.2 Allmänt

KemaNord (förutvarande Fosfatbolaget) grundades redan 1871 och är idag en storkoncern inom kemibranschen. Koncernledningen är placerad i Nacka, Stockholm. 1973 var totalomsättningen ca 1 miljard kronor varav den här studerade delen av verksamheten svarade för ca 50 miljoner kronor. Det totala antalet anställda i hela koncernen var samma år ca 5 000 varav den studerade delen sysselsatte ca 150.

Koncernen som helhet har ett mycket stort och diversifierat produktprogram som inbegriper både kemibaserade konsument- och producentvaror. Den i detta sammanhang studerade delen av verksamheten utgörs huvudsakligen av tillverkningen av industrihartser; karbamidharts, fenolharts och melaminharts, till övervägande delen producentvaror för trä- och byggnadsmaterialindustrin. I det studerade planeringsproblemet ingår även en viss produktion av melaminpressmassa och impregnerat papper. Tillverkningen av dessa produkter är förlagd till två anläggningar: Kristinehamnsfabriken i Värmland och Stockviksverken i Medelpad.

Cascodivisionen har ansvaret för hartsprodukterna och dessa försäljes gemensamt av Casco i Nacka. Försäljningen är främst inriktad på de nordiska länderna.

Cascodivisionens organisation kan snarast karakteriseras som en blandad funktions- och geografisk organisation. Industrihartstillverkningen i Stockvik och Kristinehamn är underställd respektive fabrikschef som i sin tur är ansvarig inför en gemensam teknisk chef i Cascos divisionsledning. I den nuvarande organisationen bildar ej de två tillverkningsenheterna skilda resultatenheter men fabriksresultaten kan i princip framtas.

Industrihartstillverkningen började med framställning av melaminharts och melaminpressmassa i liten skala i Ljungaverk 1944. Dessa verksamheter överflyttades 1946 till Stockviksverken. Några år senare upptogs där även tillverkningen av karbamidharts. 1964 förvärvades AB Casco och strax därefter tillkom Cascos nya fabrik i Kristinehamn. För att tillgodose norra Sveriges behov av fenolharts uppfördes 1969 en fenolhartsfabrik i Stockvik.

14.3 Planeringsproblemet

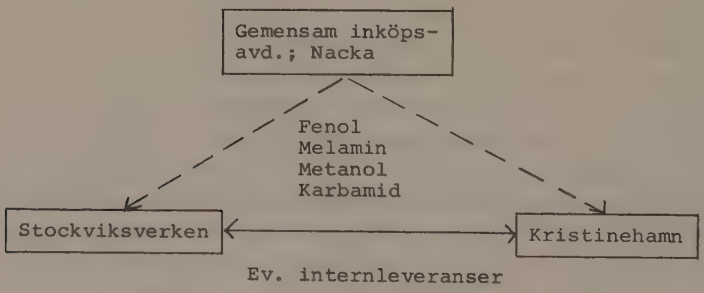


Fig. 34 Planeringsproblemet i KemaNord: översikt

Som tidigare antytts omfattar det studerade planeringsproblemet industrihartsverksamheten. De flesta råvarorna för denna inköps gemensamt av Cascos inköpsavdelning i Nacka, vilken sedan har att fördela inköpta råvarukvantiteter på Stockvik och Kristinehamn. Råvarorna är samtliga petrokemiskt baserade och tillgångs- och prissituationen är f n något osäker. Samtliga dessa råvaror är f n och väntas under 1-2 år framåt i tiden kvarstå som bristråvaror.

Genom en kraftigt expanderande marknad på industrihartser och därmed avhängiga stegvisa utbyggnader av tillverkningskapaciteten kan behov uppstå av kortsiktiga internleveranser av halvfabrikatet formalin mellan Stockvik och Kristinehamn.

Sammanfattningsvis kan sägas att det studerade planeringsproblemet således avser samordning av produktion och försäljning av hartsprodukter. Samordningskravet uppkommer bl a genom det beroendeförhållande som föreligger mellan de två tillverkningsenheterna genom bristen på de gemensamma råvarorna och möjligheten att utföra kapacitetsutjämnande internleveranser.

Vi övergår så till en detaljerad beskrivning av detta planeringsproblem. Denna beskrivning inleds med en redogörelse för tillverkningen följd av en genomgång av produkternas användningsområden, marknadsförhållanden och försäljning.

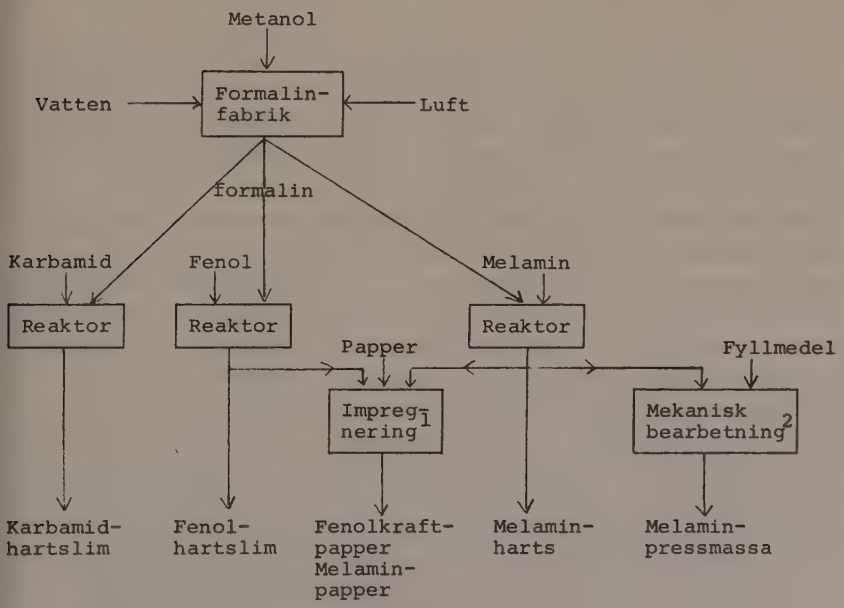


Fig. 35 Tillverkningen av hartsprodukter

1) Endast i Kristinehamn

2) Endast i Stockviksverken

Industrihartstillverkningen kan delas upp i två huvudsteg: Formalintillverkningen och den egentliga hartsframställningen. Ett tredje steg utgör i Kristinehamn tillverkningen av impregnerat papper och i Stockvik tillverkningen av melaminpressmassa.

Vid formalintillverkningen oxideras metanol till formalin. Framställningen av hartserna sker genom en kondensationsprocess i reaktorer där formalinet ingår som en väsentlig del. Karbamidhartser framställs således genom att karbamid kondenseras tillsammans med formalin. Framställningen av fenol- och melaminhartser sker på motsvarande sätt men där ersätts karbamid av fenol respektive melamin. Vid Stockviksverken tillverkas även melaminpressmassa genom att den flytande melaminhartslösningen blandas med cellulosa och knådas varefter den erhållna produkten torkas. Därefter satsas den på detta sätt erhållna grundvaran i kulkvarnar och mals tillsammans med färgpigment, smörjmedel och härdare. I Kristinehamn går en viss del av industrihartserna till framställning av impregnerat papper: fenolkraftpapper och melaminpapper.

Karbamidharts finns i 7 kvaliteter, fenolharts i 10 och melaminharts i 6. Fenolkraftpapper görs i 6 olika ytvikter och melaminpapper i 4. Melaminpressmassan är dock f n en enhetlig kvalitet som antingen levereras i pulver eller granulatform. De olika hartsprodukterna kräver något olika formalinkvantiteter men mellan olika kvaliteter av varje hartsprodukt förekommer endast små variationer i formalinåtgången. Däremot finns vissa mindre variationer i processtid mellan olika kvaliteter, vissa specialkvaliteter kräver t o m en fördubblad processtid. F n är tillverkad kvantitet/år av karbamidhartslim ca 80 000 ton, fenolhartslim ca 20 000 ton, melaminharts ca 8 000 ton, harts för impregnerat papper ca 4 000 ton och melaminpressmassa ca 2 000 ton.

Industrihartserna har relativt differentierade användningsområden men en stor avnämare är skivindustrin. Karbamidhartser används vid tillverkning av spånskivor och i plywood-, snickeri- och möbelindustrin. Fenolhartser används vid tillverkningen av plywood, träfiberskivor, mineralull och papperslaminat. Melaminhartser används till lim, papperslaminat och för att ge papper permanent våtstyrka.

Marknaden för industrihartser har expanderat kraftigt, särskilt vad gäller karbamid- och fenolhartserna och denna expansion väntas bli ännu kraftigare i framtiden. Cascodivisionen har f n ca 100 kunder på industriharts vilket motsvarar en marknadsandel på 80-90 % i Sverige och en stor andel i övriga Norden. Beroende på hartsernas relativt begränsade lagringsduglighet och höga vattenhalt är de fraktkänsliga och exporten utom Norden är obetydlig.

Som tidigare påpekats försäljes hartsprodukterna gemensamt av Cascodivisionen men leveranserna sker direkt fabrik-kund. Eftersom försäljningsvillkoret "fritt kund" tillämpas medför hartsernas fraktkänslighet att fördelningen av kunder på respektive tillverkningsställe är relativt given men genom de tillfälliga kapacitetsbristerna sker successiva omfördelningar av vissa kunder.

Vidare gäller att majoriteten av kunderna regelmässigt köper en enda av hartserna. Några köper två och ett litet fåtal alla tre hartserna. Dessa köps dock med två undantag ej i fixa proportioner. Även kvalitetsspridningen per kund är obetydlig; vanligen köps endast en enda kvalitet av en produkt. På melaminpressmassa finns ett 10-tal kunder som ej köper någon av de övriga produkterna. På impregnerat papper finns ett 50-tal kunder som svarar för följande försäljningsmönster: det helt övervägande flertalet kunder köper både fenolkraft- och melaminpapper i en given proportion, några få köper bägge produkterna utan någon bestämd mix och ytterligare några få kunder köper endast en produkt.

Ett vanligt förfarande har tidigare varit att upprätta ett- eller flerårsavtal med kunderna men p g a den rådande osäkra tillgångs- och prissituationen på råvarorna har man f n överlag övergått till att fixera priset månadsvis. Ingen prisdifferentiering förekommer men däremot kvantitetsrabatter.

14.4 DW-planering: Problemformuleringen

I det ovan presenterade planeringsproblemet urskiljer vi tre olika grupper av aktiviteter. Planeringsproblemet gäller fastställande av aktivitetsnivåer såväl inom de producerande enheterna i Kristinehamn och Stockvik som inom den försäljande enheten. Om dessa betecknas K, S respektive F erhålles följande blockangulära struktur[1]

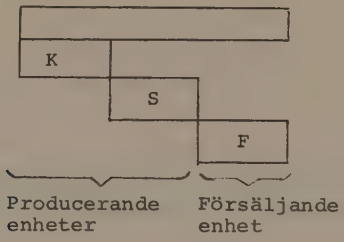


Fig. 36 Problemformulering 1: KemaNord

Om däremot planeringsproblemet avgränsas så att endast de producerande respektive endast den försäljande enheten betraktas som lokala enheter erhålles följande strukturer

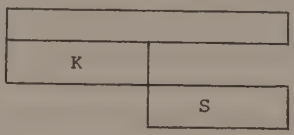


Fig. 37 Problemformulering 2: KemaNord

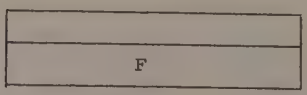


Fig. 38 Problemformulering 3: KemaNord

---

1) Vi har således valt att icke heller i detta fall urskilja en särskild LE för inköpsfunktionen. Begränsningarna på råmaterialsidan etc antas kända av CE.

Eftersom endast en försäljande enhet föreligger erhålles när endast denna betraktas som lokal enhet (Fig. 38) ett planeringsproblem vilket som tidigare påpekats får anses falla utanför gjorda avgränsningar.

Vi övergår så till att närmare precisera uppbyggnaden av problemformuleringarna 1 respektive 2.

Problemformulering 1

Innan problemformulering 1 kan preciseras måste valet av variabler beröras. För de variabler vilka motsvarar aktiviteterna inom de producerande enheterna blir självfallet en uppdelning på kvaliteter aktuell. De olika kvaliteterna har såväl olika särkostnader som olika resursåtgång. Även andra indelningsgrunder är dock tänkbara. Detta kan gälla uppdelningar i syfte att med bibehållande av större noggrannhet kunna inordna målfunktionen och/eller restriktionerna i linjära uttryck. Även variabeluppdelningar vilka ger uttryck för olika former av produktionsplanering som kan vara nödvändig förutom fastställandet av själva produktionsprogrammet kan även bli aktuella. De olika kvaliteterna kan dock framställas i endast en anläggning varför något problem jämförbart med uppdelningen på KM 1 och KM 2 i föregående fall ej tycks föreligga. I det följande antar vi att variablerna i de producerande enheterna endast uppdelats på kvaliteter d v s 33 st variabler gällande Kristinehamnsverken och 24 st variabler gällande Stockviksverken. För de variabler vilka motsvarar aktiviteterna inom den försäljande enheten blir däremot en uppdelning på kunder aktuell. Därvid krävs för det stora antal kunder vilka endast köper en kvalitet och det fåtal kunder vilka köper viss kvalitetsmix endast en variabel per kund. För det fåtal kunder som köper fler än en kvalitet och där köpen icke alltid gäller samma kvalitetsmix kan en variabel användas för varje kvalitet. Vi utgår i det följande ifrån denna variabeluppdelning och erhåller således något över etthundra variabler i den försäljande enheten. I nedanstående figur framgår inplaceringen av de i problemformulering 1 ingående begränsningarna.

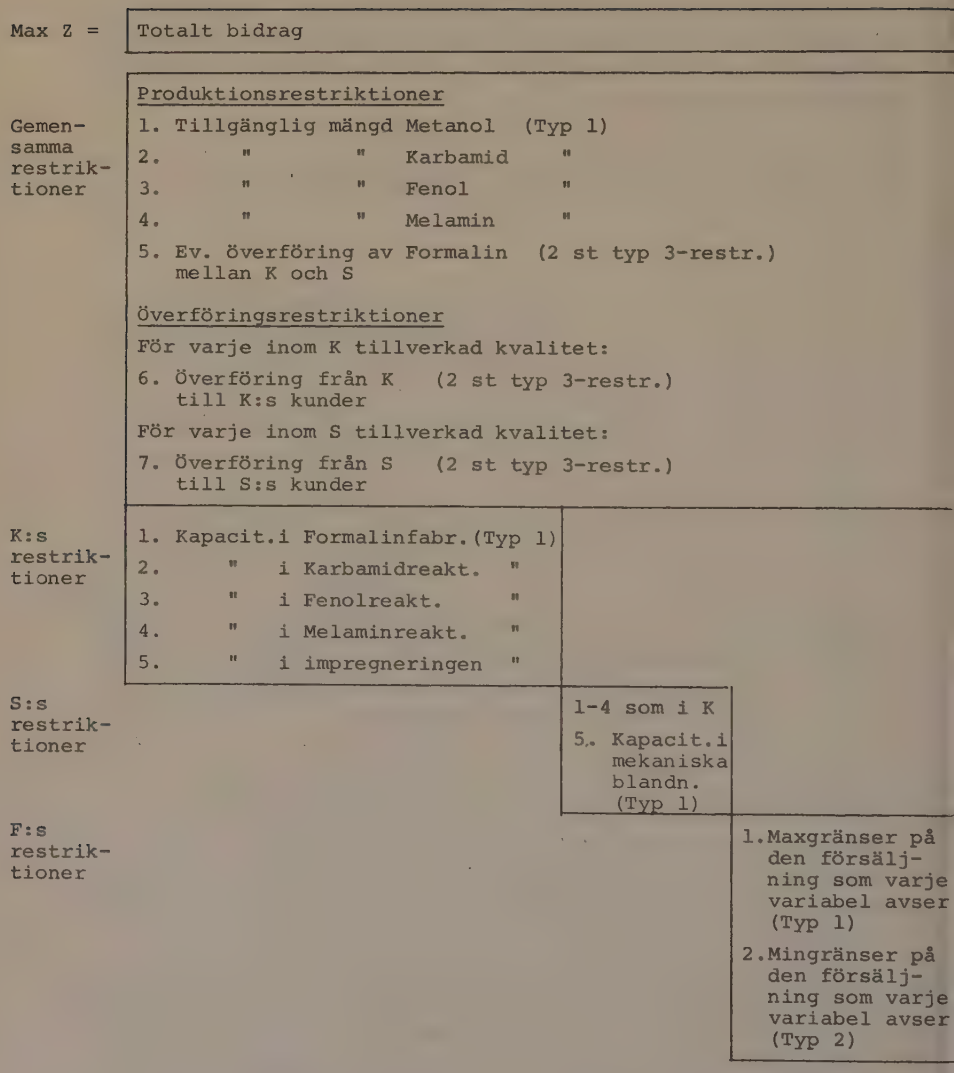


Fig. 39 Restriktionerna i problemformulering 1: KemaNord

Målfunktionen

Samma principiella kommentarer kan göras gällande målvektorerna i denna problemformulering som i problemformulering 1: Iggesund. Observeras bör att eftersom försäljningen sker fritt kund innehåller dessa målvektorer transportkostnaden till respektive kund. Detta kan ske utan svårigheter eftersom samtliga kunder i problemformuleringen antas uppdelade mellan de producerande enheterna. Frågeställningen gällande hur kunderna skall fördelas mellan de producerande enheterna har därmed lagts utanför formuleringen.[1] Vidare bör påpekas att den gemensamma restriktionen gällande överföring av visst halvfabrikat mellan S och K kräver införandet av en extra variabel såväl i S som i K vilken motsvarar levererad och mottagen mängd.

De gemensamma restriktionerna

Som framgår gäller de restriktioner vilka uttrycker samband mellan de tillverkande enheterna fördelningen av fyra olika råmaterial samt eventuellt överföringen av halvfabrikat mellan S och K. Sambanden mellan de tillverkande och försäljande enheterna består av överföringen av de olika kvaliteterna. De restriktioner som avser överföringen från K och S kan därvid hållas helt isär eftersom kunderna antas uppdelade mellan dessa enheter.

De lokala restriktionerna

Dessa restriktioner motsvaras inom de producerande enheterna av kapaciteten i de befintliga produktionsanläggningarna och inom den försäljande enheten av marknadsbegränsningar.

Vid försök att karakterisera ovanstående problemformulering i samma termer som de tidigare bör följande framhållas. Antalet gemensamma restriktioner uppgår till över 100. Sambanden mellan de tillverkande enheterna går visserligen att inordna i endast 5 restriktioner men överföringen av de olika kvaliteterna från K och S till försäljande enheten kräver två typ 3-restriktioner per

---

1) Ett alternativ till detta vore att betrakta vissa kunder vilka transportkostnadsmässigt ligger på gränsen mellan K och S som gemensamma och att i problemformuleringen inordna frågeställningen hur försäljningen till dessa skall fördelas mellan K och S. Detta kräver dock införande av såväl fler variabler som fler "överföringsrestriktioner".

kvalitet vilket medför drygt 100 sådana restriktioner eftersom antalet kvaliteter från K uppgår till 33 och antalet från S till 24. Som framgår är dock tätheten i de gemensamma restriktionerna relativt låg. De restriktioner som avser fördelningen av de olika råmaterialen avser för det första endast de producerande enheterna och vidare endast de kvaliteter vilka medför förbrukning av respektive råmaterial. De restriktioner som avser överföring av olika kvaliteter har som tidigare påpekats en mycket låg täthet. Antalet restriktioner i K och S uppgår till endast 5 vardera. I dessa erhålles koefficienter skilda från noll endast för de kvaliteter vilka förbrukar den kapacitet som respektive restriktion avser. Restriktionerna i den försäljande enheten har antagits bestå av endast max- och mingränser på respektive variabel och tätheten i detta block blir således lägsta tänkbara.[1] Antalet variabler i K och S är lika med antalet kvaliteter d v s 33 respektive 24. I den försäljande enheten är antalet variabler något större än antalet kunder vilket uppgår till ca 100.

Problemformulering 2

Eftersom denna problemformulering avgränsats till att endast omfatta planeringen i de producerande enheterna skall de marknadsbegränsningar vilka tidigare inordnats som lokala restriktioner i den försäljande enheten här uttryckas i de producerande enheternas variabler. För att detta skall vara möjligt krävs att variablerna i de producerande enheterna uppdelas på kunder. Därvid utgår vi ifrån att de i den försäljande enheten använda variablerna används i de producerande enheterna så att de variabler vilka avser K:s kunder används i K och de vilka avser S:s kunder används i S. De till dessa enheter knutna restriktionerna kan samtliga uttryckas i dessa variabler eftersom varje sådan variabel motsvarar en viss kvalitet eller kvalitetsmix. Eftersom de i den försäljande enheten förekommande max- och mingränserna endast avser en variabel krävs ej att dessa uttryckes som gemensamma restriktioner utan dessa kan inordnas som lokala restriktioner i K och S. De i problemformuleringen 2 ingående restriktionerna framgår av fig. 40.

---

1) Jfr. restriktionerna i R 1-4 i problemformulering 1 och 2: Iggesund.

Max Z = Totalt bidrag

Gemensamma restriktioner

Produktionsrestriktioner

1. Tillgänglig mängd Metanol (Typ 1)
2. " " Karbamid "
3. " " Fenol "
4. " " Melamin "
5. Ev. överföring av Formalin mellan (2 st typ 3-restr.) K och S

K:s restriktioner

1. Kapacit.i Formalinfabr. (Typ 1)
2. " i Karbamidreakt. "
3. " i Fenolreakt. "
4. " i Melaminreakt. "
5. " i impregneringen "
6. Maxgränser på den försäljning som varje variabel avser (Typ 1)
7. Mingränser på den försäljning som varje variabel avser (Typ 2)

S:s restriktioner

1 - 4 som i K

5. Kapacit. i mekaniska blandningen (Typ 1)

6 - 7 som i K

Fig. 40 Restriktionerna i problemformulering 2: KemaNord

Övergången från formulering 1 till 2 ter sig i många avseenden analog med motsvarande övergång i fallet Iggesund. Vi skall därför endast kortfattat kommentera uppbyggnaden av problemformulering 2.

De gemensamma restriktionerna består endast av de i problemformulering 1 medtagna sambanden mellan de tillverkande enheterna. Till de lokala restriktionerna i K och S har tillkommit max- och mingränser på den försäljning som varje variabel avser. Samtliga restriktioner i K och S uttrycks i variabler vilka motsvarar försäljning av viss kvalitet eller viss kvalitetsmix till viss kund och ej som i formulering 1 i variabler uppdelade på enbart kvalitet.

Antalet gemensamma restriktioner har minskat till endast 5. Gällande tätheten i de olika blocken torde kommentarer vara överflödiga eftersom i princip samma resonemang kan föras som i anslutning till problemformulering 1.

I nästföljande avsnitt där DW-planeringen uttolkas har vi valt att utgå ifrån problemformulering 1. Detta val får ses mot bakgrund av vår strävan att ge så allsidiga exempel som möjligt gällande uppläggningen av DW-planeringen.I föregående fall utgick vi ifrån en problemformulering med enbart försäljande enheter och i det följande avser vi utgå ifrån en problemformulering med enbart producerande enheter. Antalet gemensamma restriktioner i problemformulering 1 d v s när såväl tillverkande som försäljande enheter medtas förefaller vidare lägst i KemaNord.

14.5 DW-planering: Planeringsprocessen

Vi utgår således från problemformulering 1. Den för uppställandet av denna problemformulering nödvändiga informationen kan i första hand tänkas fördelad enligt nedanstående uppställning.

Information	Enhet
Variabeluppdelningen	respektive LE
c_j: särkostnaderna i produktionen samt försäljningsintäkterna.	" "
A_j: de olika kvaliteternas och kvalitetsmixernas förbrukning av de gemensamma råmaterialen. Vänsterleden i "överföringsrestriktionerna".	" "
a : tillgänglig mängd av de gemensamma råmaterialen. Högerleden i "överföringsrestriktionerna".	CE
B_j och b_j: begränsningarna i de lokala produktionsanläggningarna samt marknadsbegränsningarna.	respektive LE

Variabeluppdelningen har förutsatts känd av respektive LE eftersom de producerande enheterna känner uppdelningen på kvaliteter och den försäljande enheten uppdelningen på kunder. Vidare har såväl c_j som A_j hänförts till respektive LE. Gällande c_j har det varit rimligt att anta att särkostnaderna i produktionen och särintäkterna vid försäljningen är kända av de producerande respektive den försäljande enheten. Gällande A_j har det varit rimligt att anta att förbrukningen av de gemensamma råmaterialen, vilken sker i de lokala produktionsanläggningarna, är känd av de producerande enheterna samt att såväl de producerande som den försäljande enheten känner innebörden i "överföringsrestriktionerna".

Om vi utgår ifrån ovanstående informationsfördelning där endast vektorn a tilldelats CE kan endast tolkning C av planeringsprocessen väljas. I fig. 41 återges denna tolkning applicerad på det studerade samordningsproblemet.

CE

Information: a -- tillgänglig mängd av de gemensamma råmaterialen samt ev. lagringsmöjligheter

Beräkning: --------

p^t (dualpriserna)

a_{jt} (se nedan)

c_{jt} (se nedan)

Respektive LE_j, j=1,2

Information: Variabeluppdelningen

c_j -- särkostnaderna i produktionen

A_j -- de olika kvaliteternas förbrukning av de gemensamma råmaterialen samt innebörden i "överföringsrestriktionerna"

B_j -- de olika kvaliteternas kapacitetsanspråk i produktionsanläggningarna

b_j -- tillgänglig kapacitet i de olika produktionsanläggningarna

Beräkning: $c_j^{rt}=c_j - p^tA_j$ -- reviderade målvektorer

a_{jt} -- den framtagna produktionsplanens förbrukning av de gemensamma råmaterialen samt detta produktionsprograms tillskott till "överföringsrestriktionerna" d v s produktionsprogrammet i klartext

c_{jt} -- särkostnaden för det framtagna produktionsprogrammet

LE_3

Information: Variabeluppdelningen

c_3 -- särintäkterna vid försäljningen

A_3 -- innebörden i "överföringsrestriktionerna"

B_3 -- endast 1:or

b_3 -- max- och mingränser på den försäljning som respektive variabel avser

Beräkning: $c_3^{rt}=c_3 - p^tA_3$ -- reviderade målvektorer

a_{3t} -- den framtagna försäljningsplanens försäljningsintäkter samt effekten på "överföringsrestriktionerna" d v s försäljningsplanen i klartext vad gäller uppdelningen på olika kvaliteter

c_{3t} -- särintäkterna för den framtagna försäljningsplanen

Fig 41. Iterationsfasen i KemaNord, tolkning C

Enligt denna tolkning inleds iterationsfasen med att de lokala enheterna erhåller dualpriser på de gemensamma restriktionerna d v s de producerande enheterna erhåller priser på de gemensamma råmaterialen och samtliga enheter erhåller priser på överföring av de olika kvaliteterna. De producerande enheterna framtar därefter vid lösandet av sina respektive subproblem den produktionsplan som maximerar deras bidrag. Bidraget motsvaras därvid av skillnaden mellan den "subvention" som erhålles för överförda kvaliteter och summan av de särkostnader som uppstår i produktionen och det avdrag som görs för förbrukningen av de gemensamma resurserna. Efter framtagande av dessa produktionsplaner beräknar de producerande enheterna vilka särkostnader som dessa planer medför samt vilken effekt de får i de gemensamma restriktionerna och meddelar detta till centralenheten. Effekten i de gemensamma restriktionerna består dels av förbrukningen av de gemensamma råmaterialen och dels av tillskotten till de olika överföringsrestriktionerna d v s produktionsprogrammet i klartext.

Den försäljande enheten framtar efter erhållande av priser på de olika överförda kvaliteterna den försäljningsplan som maximerar dess bidrag d v s skillnaden mellan försäljningsintäkten och dessa priser. Därefter beräknas och översändes till centralenheten dels denna försäljningsplans totala försäljningsintäkt och dels effekten i de gemensamma "överföringsrestriktionerna" d v s försäljningsplanen uttryckt i försålda mängder av respektive kvalitet. Efter erhållande av nämnda information från de lokala enheterna kan centralenheten genom lösandet av masterproblemet framta nya priser.

Av ovanstående har framgått att centralenheten trots att tolkning C valts erhåller information om de lokala enheternas planer uttryckta i producerad respektive försåld mängd av respektive kvalitet. Detta är en följd av överföringsrestriktionernas karaktär där varje sådan avser endast en kvalitet.

Vad gäller startfasen kan konstateras att det, i likhet med vid problemformulering 1 Iggesund, kan uppstå problem vid försök att genom avgivande av prisinformation uppnå en till-

låten startlösning. Dessa problem uppstår här bl a p g a "överföringsrestriktionerna" vilka för varje kvalitet kräver att den producerande kvantiteten skall vara lika med den försålda. En möjlighet vore här att som startlösning använda det produktionsprogram som endast uppfyller de minimigränser som uppställts inom den försäljande enheten. Detta produktionsprogram måste vara tillåtet om ett sådant produktionsprogram överhuvudtaget existerar.

Eftersom tolkning C valts kan i princip endast beslutsformerna "priser" och "planvillkor" väljas.[1] Även i detta fall väljer vi att icke vidare utveckla beslutsformen "priser" eftersom denna som tidigare framgått har uppenbara nackdelar.

Beslutsformen "planvillkor", d v s att centralenheten meddelar $\hat{a}_j^t$, skulle vad gäller de gemensamma råmaterialen innebära att centralenheten tilldelar de producerande enheterna en viss mängd av dessa och att de producerande enheterna får till uppgift att utnyttja detta på bästa sätt. För överföringsrestriktionernas del skulle beslutsformen innebära att centralenheten meddelar hur mycket de producerande enheterna skall översända av respektive kvalitet samt hur mycket den försäljande enheten skall motta av varje kvalitet. P g a "överföringsrestriktionernas" karaktär blir således beslutsformen "planvillkor" i det närmaste analog med beslutsformen "beordrad plan" eftersom det enda som icke exakt specificeras gällande de lokala enheternas val av aktivitetsnivåer är uppdelningen mellan olika kunder vid försäljningen. Observeras bör även att den ovan nämnda tilldelningen av gemensamma råmaterial därvid blir tämligen meningslös. När produktionsprogrammet specificerats enligt ovan återstår inget val för de producerande enheterna vilket kan påverkas av denna tilldelning.

Sammanfattningsvis kan det vara värt att notera att vi gällande förekomsten av överföringsrestriktionerna konstaterat följande.[2] Ingen princip har kunnat anges för att fastställa startpriser

---

1) Se avsnitt 9.3.

2) Detta konstaterades även i fallet Iggesund.

vilka med säkerhet leder till en tillåten startlösning. Om antalet kvaliteter vilka skall urskiljas är stort blir antalet gemensamma restriktioner stort vilket i sin tur allvarligt kan försämra planeringsprocessens konvergensegenskaper. Vidare medför överföringsrestriktionernas karaktär att de lokala enheternas planer uttryckta i mängder av de överförda kvaliteterna översänds till den centrala enheten oavsett vilken tolkning som väljs av iterationsfasen. Slutligen har vi gällande beslutsfasen konstaterat att överföringsrestriktionerna medför att beslutsformen "planvillkor" blir i det närmaste analog med beslutsformen "beordrad plan" vilken snarast kan karakteriseras som direktstyrning.

Vi övergår så till att kortfattat kommentera den planeringsprocess som erhålles med utgångspunkt från problemformulering 2.

I denna problemformulering där endast de producerande enheterna urskiljes som LE kan informationen i första hand tänkas fördelad enligt nedanstående uppställning.

Information	Enhet
Variabeluppdelningen	Respektive LE
c_j: särintäkter c_j: särkostnader	" "
A_j: förbrukningen av de gemensamma råmaterialen för den kvalitetsmix som varje variabel avser	"
a : tillgänglig mängd av de gemensamma råmaterialen	CE
B_j och b_j: begränsningarna i de lokala produktionsanläggningarna samt marknadsbegränsningarna	respektive LE

Vid ovanstående fördelning av informationen har vi utgått ifrån att de producerande enheterna känner de förhållanden som råder på de delar av marknaden som tilldelats dessa. Detta kan organisatoriskt ske genom att försäljningen till de två marknadsdelarna knyts till de producerande enheterna. Skälet till att all information förutom a kan hänföras till respektive LE är självfallet den att marknaden förutsätts uppdelad mellan de två enheterna. Detta medför bl a att marknadsbegränsningarna kan

uttryckas som lokala restriktioner.

Tolkning C skulle innebära att CE i iterationsfasen översänder priser på de gemensamma råmaterialen till K och S. Dessa beräknar vilka produktions- och försäljningsplaner som skulle vara optimala med hänsyn till de erhållna priserna och meddelar dessa planers tillskott till måluppfyllelsen samt förbrukningen av de gemensamma råmaterialen. Med utgångspunkt från denna information kan CE sedan genom en ny vägning framta nya priser på råmaterialen.

Vad gäller startfasen kan denna, eftersom samtliga gemensamma restriktioner är av typ 1, utformas så att höga startpriser åsättes de gemensamma restriktionerna helt i enlighet med det resonemang som genomfördes i avsnitt 7.4. Under beslutsfasen kan, eftersom tolkning C valts, beslutsformerna "planvillkor" eller "priser" användas. "Planvillkor" skulle innebära att de producerande enheterna erhåller en viss tilldelning av de gemensamma råmaterialen samt ges i uppgift att utnyttja dessa så att deras respektive bidrag maximeras. Vi konstaterar att ovanstående tolkning där styrningen av de producerande enheterna sker genom att priser åsättes de gemensamma råmaterialen rent intuitivt ter sig tilltalande. Detta får sägas gälla planeringsprocessens samtliga tre faser. Trots detta har vi som framgått valt att ägna största delen av detta avsnitt åt tolkningar i anslutning till problemformulering 1. I dessa tolkningar medförde existensen av överföringsrestriktionerna att samtliga tre faser kunde förväntas medföra vissa svårigheter. Den valda uppläggningen av detta avsnitt får därför främst ses mot bakgrund av vår strävan att ge allsidiga exempel på uppläggningen av planeringsprocessen.

14.6 DW-planering - nuvarande planeringsförfarande

Även detta kapitel avslutas med en kort karakteristik av det nuvarande planeringsförfarandet och en jämförelse av detta med DW-planeringen där samma aspekter behandlas som i föregående fallstudie.

Planeringen av produktion och försäljning av industrihartser grundar sig ytterst på en långsiktsplan. Denna inbegriper marknads- och produktionsförhållanden samt ekonomiska aspekter. Årsbudgeten baserar sig på långsiktsplanen och det planerade produktsortimentet (produktplanen). Produktionsplaneringen utgår ifrån en rullande försäljningsprognos samt det planerade produktsortimentet nedbrutet till råvaror. Den detaljerade kortsiktiga produktionsplanen utgår ifrån försäljningsprognosen och inneliggande orderstock.[1]

Utnyttjandet av formaliserade/matematiska planeringsmetoder är av mindre omfattning. Försäljningsprognosen är datoriserad liksom även årsbudgeten vilken är föremål för vissa datoriserade känslighetsanalyser. I övrigt förekommer endast matematiska planeringstekniker i investeringsverksamheten.

Internprissättning förekommer inom industrihartssektorn endast ifråga om de i undantagsfall företagna internleveranserna av halvfabrikat mellan Kristinehamn och Stockviksverken. Dessa internleveranser prissättes och avräknas i efterhand.

De iterativa inslagen i planeringen är i detta fall sällsynta. Budgetarbetet bedrivs dock etappvis. Årets arbete initieras i och med framtagandet av produktplanen som bl a kompletteras med en avdelningsvis omkostnadsbudget samt försäljningsbudget till en preliminär årsbudget. Efter diverse periodiseringar och justeringar får budgeten sin slutliga form i vilken den presenteras för koncernledningen. Planeringsarbetet sker således etappvis, men utan påtagliga likheter med DW-planeringens iterativa funktionssätt.

14.7 Sammanfattning

I avsnitt 14.2 gavs en allmän bild över KemaNord AB: en storkoncern inom kemibranschen.

---

1) En mer detaljerad beskrivning av planeringen av produktion och försäljning av industrihartser vid KemaNord AB finns i Fig. 63, Bilaga 3.

I avsnitt 14.3 beskrevs planeringsproblemet vilket avsåg en avgränsad del av KemaNords verksamhet nämligen tillverkning och försäljning av industrihartser. Tillverkningen var förlagd till två anläggningar och marknaden geografiskt uppdelad mellan dessa. Tillgången på vissa råmaterial vilka användes i båda produktionsanläggningarna var starkt begränsad. Försäljningen ombesörjdes av en central försäljningsenhet.

Vid formuleringen av planeringsproblemet i avsnitt 14.4 urskiljdes tre grupper av aktiviteter: två knutna till de producerande enheterna och en till den försäljande. Med utgångspunkt från detta angavs den principiella uppställningen av två blockangulära formuleringar. Den ena med såväl producerande som försäljande enheter som LE och den andra med enbart producerande. I den förra motsvarade de gemensamma restriktionerna överföringen av olika kvaliteter från producerande till försäljande enheter samt den begränsade tillgången på råmaterial. I den senare formuleringen ingick gemensamma restriktioner gällande råmaterialet. I båda formuleringarna kunde marknadsbegränsningarna uttryckas som lokala restriktioner eftersom marknaden var uppdelad mellan dessa.

Vid uttolkningen av DW-planeringen i avsnitt 14.5 utgick vi ifrån formuleringen med såväl producerande som försäljande enheter. Gällande den i problemformuleringen ingående informationen fann vi rimligt att anta att denna var fördelad på ett sådant sätt att tolkning C kunde väljas. Denna innebar att CE i varje iteration meddelade dualpriserna på de gemensamma råmaterialen till de producerande enheterna och dualpriserna på överföringsrestriktionerna till såväl producerande som försäljande enheter. Efter framtagande av nya planer meddelade de producerande enheterna vad dessa planer krävde i råmaterial samt vilket tillskott dessa gav till överföringsrestriktionerna d v s tillverkningsplanen i klartext. Vidare meddelade de särkostnaderna för dessa planer. Den försäljande enheten meddelade på motsvarande sätt effekten på överföringsrestriktionerna samt särintäkterna.

Gällande överföringsrestriktionerna konstaterade vi sammanfattningsvis att dessa kan medföra svårigheter vid försök att framta en tillåten startlösning, att CE i varje iteration fick kännedom

om samtliga LE:s planer uttryckta i tillverkad eller försåld mängd av respektive kvalitet samt att beslutsformen "planvillkor" fick karaktären av direktstyrning.

Vid den avslutande jämförelsen i 14.6 mellan nuvarande planeringsförfarande och DW-planering konstaterade vi att betydande olikheter förelåg på de flesta jämförda punkterna.

15 UNIFOS KEMI AB

15.1 Kapitelöversikt

I avsnitt 15.2 görs en allmän presentation av det företag från vilket det studerade planeringsproblemet hämtats.

Planeringsproblemet beskrivs därefter i avsnitt 15.3.

I 15.4 anges den principiella uppbyggnaden av problemformuleringar vilka återspeglar detta planeringsproblem när avgränsning skett på något olika sätt.

I avsnitt 15.5 behandlas därefter den principiella utformningen av DW-planeringen sådan denna kan tänkas upplagd med utgångspunkt från de presenterade problemformuleringarna.

I avsnitt 15.6 görs slutligen en kort presentation av nuvarande planeringsförfarande och några korta jämförelser med DW-planeringen.

15.2 Allmänt

Unifos Kemi AB bildades så sent som 1961, hälftenägt av Kema-Nord och Union Carbide.[1] Det är en petrokemisk processindustri belägen i Stenungsund i Bohuslän. 1973 omsatte företaget ca 300 mkr. Antal anställda var samma år ca 450.

Företaget har två huvudprodukter som båda är producentvaror: LD-polyeten och HD-polyeten (LDPE respektive HDPE). Dessa framställs i två skilda produktionsanläggningar och försäljes i form av s k pellets, PE-vara i grynform, som är utgångsmaterial för vidare bearbetning till olika slutprodukter inom plastindustrin.

Försäljningen sköts dels av moderbolaget, dels av egna försäljningsbolag och en fristående agent. Försäljningsverksamheten är främst inriktad på den skandinaviska marknaden.

Unifos har en funktionsorganisation där de två tillverkningsenheterna, LD- och HD-enheten, utgör åtskilda ekonomiska enheter med separat resultatredovisning.

---

1) Detta amerikanska företag är en av världens största kemiska industrikoncerner och den största tillverkaren av polyeten med ett 20-tal fabriker spridda över hela världen, varav tre finns i Europa.

Inför produktionsstarten 1963 uppfördes en anläggning för 15 000 årston LDPE. Den snabbt stigande efterfrågan på polyeten har möjliggjort stegvisa utbyggnader av kapaciteten så att årsproduktionen av LDPE f n är 160 000 årston. En ny produktionsanläggning för HDPE, med en nuvarande kapacitet på 50 000 årston, togs i bruk i slutet av 1971.

15.3 Planeringsproblemet

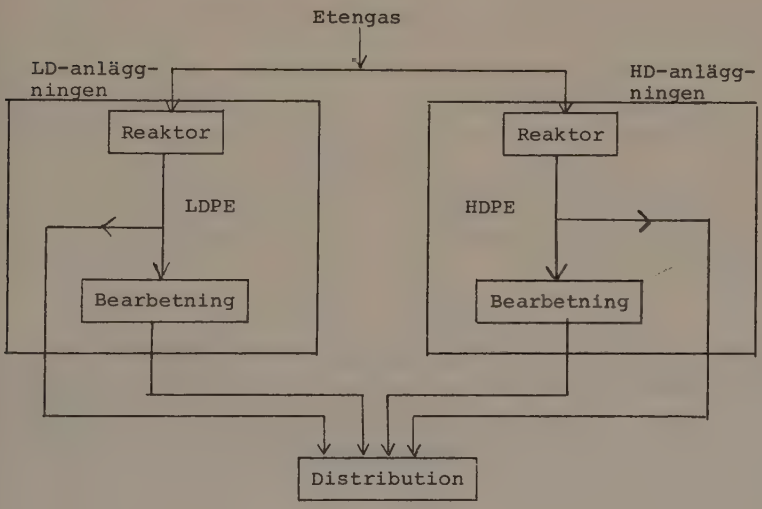


Fig. 42 Planeringsproblemet i Unifos: översikt

Råvaran etengas levereras via direktledning från Essos krackningsanläggning i Stenungsund. Etengasen fördelas på de två anläggningarna för LDPE och HDPE. Polyetenet uppkommer genom polymerisation av eten varvid etenmolekylens dubbelbindning slås sönder och fås att förena sig med omgivande etenmolekyler till långa molekylkedjor. Om denna process sker under mycket högt tryck får man s k högtryckspolyeten eller LDPE (LD = low density). LDPE består av molekylkedjor med relativt många sidogrenar. Produkter därav blir därför mjuka och böjliga. Polymerisation vid

lägre tryck och med hjälp av speciella katalysatorer ger lågtryckspolyeten eller HDPE (HD = hig density). HDPE har få sidogrenar i molekylkedjan och produkter därav är därför betydligt styvare än produkter av LDPE. Tack vare sin stabila kemiska uppbyggnad är polyeten motståndskraftigt mot de flesta kemikalier, t ex syror, alkalier och de flesta vattenlösningar.

Efter polymerisation i reaktor går majoriteten av polyetent vidare till bearbetning och distribution.

Råvaran etengas har en mycket osäker och knapp tillgångssituation. Etengasen framställs genom krackning av nafta vilken fås som en av produkterna vid raffinering av råolja. Tidigare har naftan varit en överskottsprodukt, men vid brist på råolja har den alltmer kommit att användas till bensinframställning. Den svenska krackerkapaciteten, 300 000 ton hos Esso Stenungsund, är helt intecknad av den petrokemiska industrin i Stenungsund. Varje kapacitetsökning innebär att motsvarande mängd eten måste importeras till ett betydligt högre pris om extra eten överhuvudtaget kan anskaffas.[1]

Kortfattat kan planeringsproblemet sägas gälla samordning av de två tillverkningsenheternas produktion och försäljning. Samordningsbehovet uppstår dels genom den gemensamma knappa råvaruförsörjningen, dels genom vissa andra beroendeförhållanden mellan anläggningarna vilka berörs nedan.

Från denna översiktliga bild övergår vi så till en mer detaljerad beskrivning av planeringsproblemet. Denna beskrivning inleds med tillverkningen följd av en genomgång av produkternas användningsområden, marknadsförhållanden och försäljning.

---

1) Unifos planerar att tillsammans med de andra etenförbrukarna i Stenungsund bygga en egen kracker, vilken dock knappast kan stå färdig förrän 1978-79.

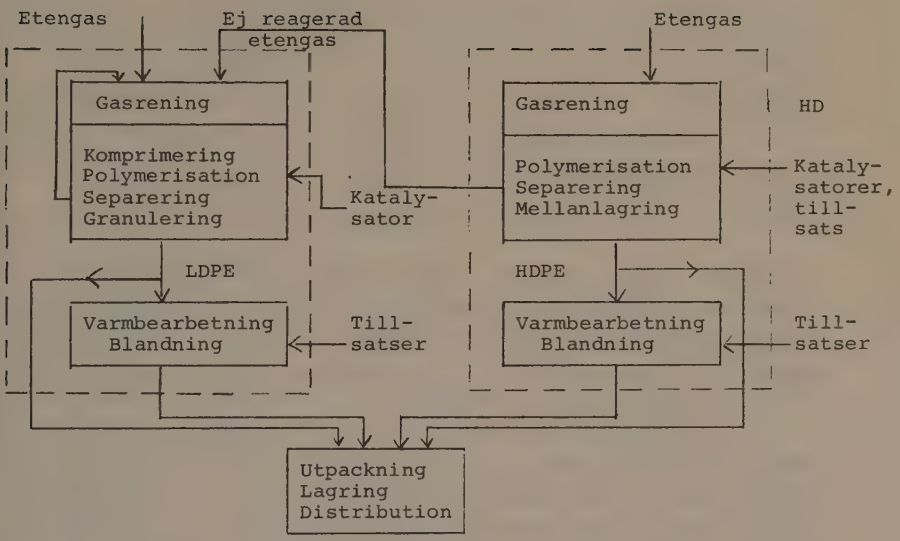


Fig. 43 Tillverkningen av polyeten

I LD-anläggningen sker först en rening av den inkommande etengasen. Därefter komprimeras etengasen till högt tryck och polymerisation sker i fyra reaktorer under inverkan av relativt hög temperatur och katalysator som startar polymerisationen. Därpå separeras bildad LDPE ifrån den icke reagerade etengasen vilken åter renas. Sedan vidtar granulering (polyeten formas till gryn) i granuleringsextruder. Ca 25 % av den så behandlade produkten går till försäljning, resten går till vidare bearbetning.

Bearbetningen omfattar 7 alternativa bearbetningslinjer och inleds med en varmbearbetning där kemikalier som färgpigment, antioxidanter etc tillsättes. Innan den färdiga produkten erhålles sker även en ny granulering och blandning för utjämning av tillfälliga svängningar i tillverkningen.

I HD-anläggningen försiggår tillverkningen på liknande sätt som i LD-anläggningen med några undantag. Polymerisationen sker i 2 reaktorer med hjälp av speciella katalysatorer utan föregående

komprimering. Den separerade icke reagerade etengasen går in i LD-anläggningens gasrening. Ingen granulering krävs innan varmbearbetningen men istället sker en mellanlagring. Ca 5 % obearbetad HDPE säljs direkt. Bearbetningen omfattar här endast 2 linjer.

En viss utbytbarhet finns mellan de totalt 9 bearbetningslinjerna; f n lånar HD-enheten bearbetningskapacitet av LD-enheten.

Av LDPE tillverkas idag ca 100 olika kvaliteter och av HDPE ca 50. Etenåtgången är ungefär densamma för LDPE och HDPE. Tillskottet av tillsatser varierar däremot mellan kvaliteterna liksom även bearbetningstiden. F n tillverkas 160 000 ton LDPE och 50 000 ton HDPE per år.

LDPE och HDPE har delvis sammanfallande användningsområden men eftersom produkter av LDPE vanligen blir mjuka och böjliga används det framförallt som film, beläggningsmaterial, böjbara klena rör etc. Det styvare HDPE lämpar sig för produkter som kräver förhållandevis hårda och slagtåliga väggar, t ex flaskor, backar, förvaringskärl, grova rör etc.

Polyetenmarknaden är en expansiv marknad; sedan starten 1963 har man mer än tiodubblat årsproduktionen av LDPE. Framtidsutsikterna beror framförallt av den osäkra råvarutillgången men om denna kan säkras i erforderliga kvantiteter utan större prisändringar väntas en fortsatt stadig marknadstillväxt. Unifos naturliga hemmamarknad omfattar Norden där man har ca 500 kunder varav ett relativt fåtal svarar för en stor andel av försäljningen.

Försäljningen sköts av huvudkontoret i Stenungsund, ett dotterbolag i Danmark och ett i Norge. I Finland handhas försäljningen av en agent. Leveranserna sker direkt Stenungsund - kund. Ca 10% levereras med järnväg, ca 10% med båt och ca 80% med lastbil. Man tillämpar försäljningsvillkoret "fritt kund".

De större kunderna köper i regel enbart en av de två produkterna medan de mindre ofta köper av båda. Kvalitetsspridningen per kund är inte särskilt stor; i genomsnitt 3 - 4 kvaliteter per kund

och år. De stora kunderna köper något fler och de mindre något färre.

Försäljningen sker i mycket liten utsträckning via fasta kontrakt, istället avtalas regelmässigt korttidsleveranser. I viss utsträckning tillämpas en volymsberoende prissättningspolitik.

15.4 DW-planering: Problemformulering

Det ovan beskrivna planeringsproblemet gäller såväl produktion som försäljning. Inom detta urskiljer vi totalt sex grupper av aktiviteter. En grupp aktiviteter för var och en av de två producerande enheterna och en för var och en av de försäljande: huvudkontoret i Stenungsund, de försäljande dotterbolagen i Danmark och Norge samt agenten i Finland. Om var och en av dessa enheter betraktas som LE erhålles en blockangulär struktur enligt fig. 44. I denna har de försäljande enheterna betecknats med första bokstaven i det land i vilket enheten är belägen.

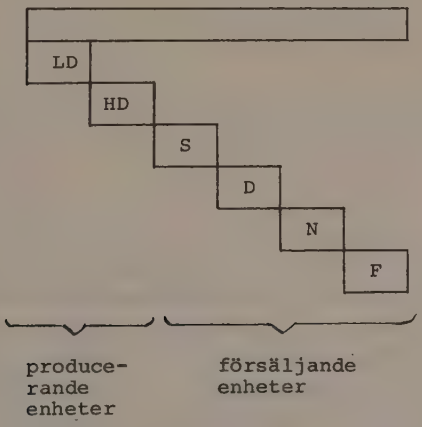


Fig. 44 Problemformulering 1: Unifos

Vid avgränsning av planeringsproblemet till enbart tillverkande respektive enbart försäljande enheter erhålles nedanstående strukturer.

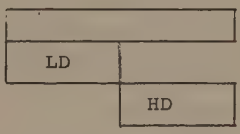


Fig. 45 Problemformulering 2: Unifos

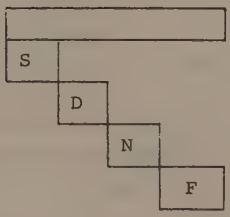


Fig. 46 Problemformulering 3: Unifos

Antalet LE är i samtliga problemformuleringar ovan större än ett. Alla tre problemformuleringarna behandlas därför i det följande.

Problemformulering 1

Vi konstaterar att valet av variabler i problemformulering 1 blir i det närmaste analogt med motsvarande val såväl i fallet Iggesund som i fallet KemaNord. I det följande utgår vi från att variablerna inom de producerande enheterna uppdelas på kvaliteter d v s ca 100 inom LD-enheten och ca 50 inom HD-enheten. Eftersom det icke föreligger några alternativa sätt att framta en viss kvalitet torde en uppdelning efter produktionsteknik icke krävas.[1] Inom de försäljande enheterna antar vi att variablerna uppdelats på såväl kvalitet som kund och att dessa således motsvarar försåld mängd av viss kvalitet till viss kund.

1) Jämför uppdelningen mellan de två kartongmaskinerna i fallet Iggesund.

För de kunder som köper en viss given kvalitetsmix får dock endast en variabel motsvara försäljningen av denna kvalitetsmix. I den mån mängdrabatter förekommer antar vi att variablerna uppdelats för att beakta detta.[1] Antalet variabler i de försäljande enheterna blir således större än antalet kunder vilket enligt avsnitt 15.2 ovan uppgår till ca 500.

Fig. 47 nedan återger de i problemformulering 1 ingående restriktionerna.

1) Denna typ av uppspjälkning av variabler torde i första hand bli aktuell för de kunder som svarar för en stor del av försäljningen och därmed har stor betydelse för planeringsproblemets lösning.

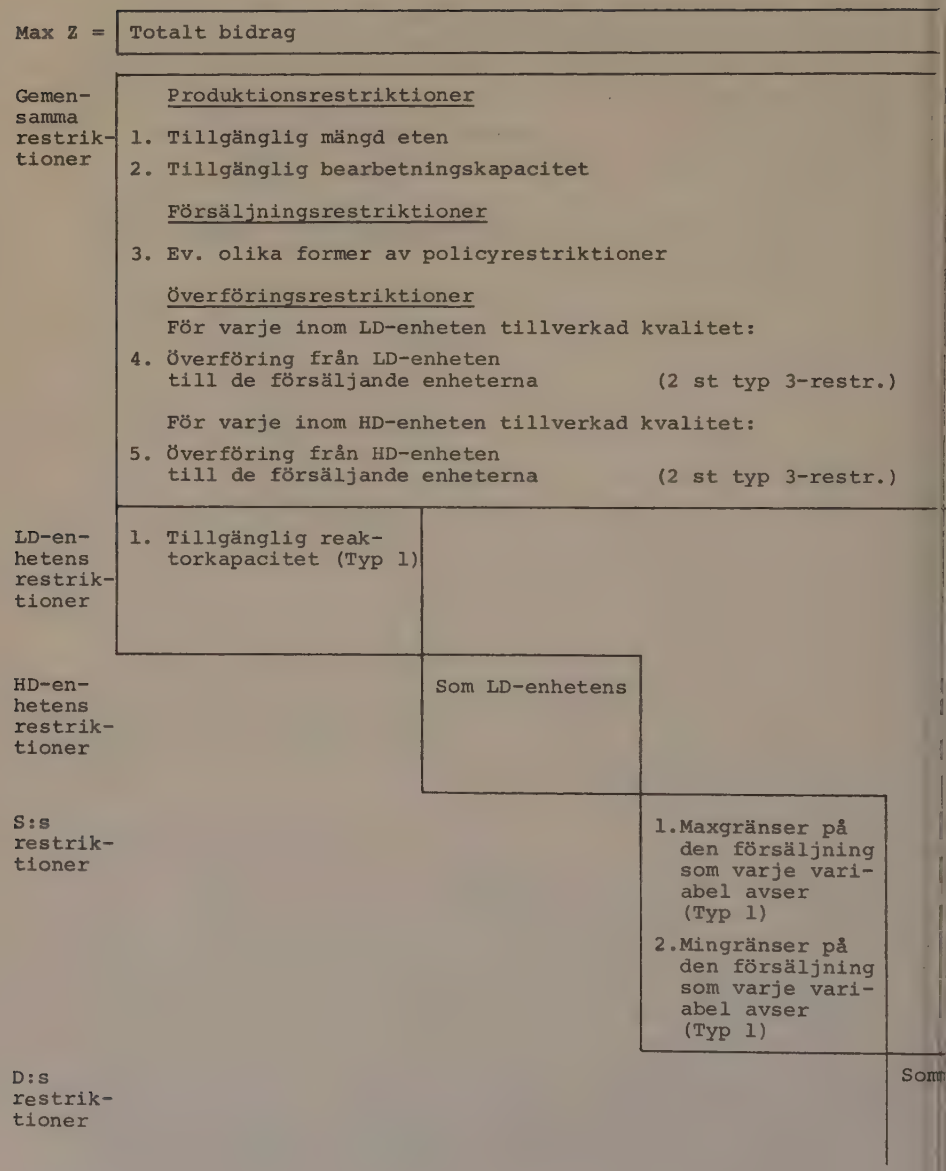


Fig. 47 Restriktionerna i problemformulering 1: Unifos

Målfunktionen

I likhet med i problemformulering 1 i de båda tidigare fallen utgörs de producerande enheternas målvektorer av särkostnader i produktionen och de försäljande enheternas målvektorer av försäljningsintäkten. Eftersom försäljningen sker fritt kund skall transportkostnaden ingå. Denna kan lämpligen ingå i de försäljande enheternas målvektorer.

De gemensamma restriktionerna

De restriktioner som avser sambanden mellan de producerande enheterna motsvarar dels den begränsade tillgången på eten och dels utlåningen av bearbetningskapacitet mellan enheterna. Vi har valt att betrakta bearbetningskapaciteten som en gemensam resurs och får således en typ 1-restriktion gällande denna. En annan möjlighet vore att betrakta denna kapacitet som helt uppdelad på de två enheterna och att tillåta "utlåning" av bearbetningskapacitet mellan enheterna. Detta skulle om variablerna förses med nollrestriktioner kräva två typ 3-restriktioner för utlåningen i varje riktning d v s totalt fyra restriktioner. Detta kräver även införandet av variabler vilka ger uttryck för nämnda "utlåning".[1]

Restriktionerna gällande sambanden mellan de försäljande enheterna kan utgöras av krav på viss balans mellan dessa enheters försäljning av olika kvaliteter, till olika kundgrupper etc.

"Överföringsrestriktionerna" utgörs även i detta fall av två typ 3-restriktioner för varje kvalitet. Var och en av dessa restriktioner avser därvid endast överföring från en producerande enhet. I de två producerande enheterna framtas som framgått skilda former av polyeten.

De lokala restriktionerna

I de producerande enheterna har endast en typ 1-restriktion angetts nämligen gällande reaktorkapaciteten. Bearbetningskapacite-

---

1) Att på detta sätt omvandla en typ 1-restriktion till ett antal typ 3-restriktioner är självfallet alltid möjligt genom att innan planeringsprocessen tar sin början på något sätt fördela den aktuella resursen mellan enheterna.

ten har som framgått betraktats som en gemensam resurs. I de försäljande enheterna har max- och eventuellt mingränser åsatts samtliga variabler.

Problemformulering 1 har således den ungefärliga storleksordningen av 650 variabler och 150 gemensamma restriktioner. Tätheten i de gemensamma restriktionerna torde även här kunna karakteriseras som låg. Bl a föreligger ett stort antal "överföringsrestriktioner. Tätheten i de producerande enheternas lokala restriktioner är 100 % eftersom alla kvaliteter kräver reaktorkapacitet. Max- och mingränserna i de försäljande enheterna ger däremot som tidigare framgått den lägsta tänkbara täthet för den aktuella blockdimensionen.

Problemformulering 2

I denna formulering har planeringsproblemet avgränsats till att enbart gälla aktiviteterna inom de producerande enheterna. Variablerna i dessa kan dock icke endast uppdelas på kvaliteter eftersom bidraget för dessa blir olika beroende på till vilken kund försäljningen sker. Vi antar därför att samma variabeluppdelning används som i de försäljande enheterna i problemformulering 1,d v s varje variabel avser viss försäljning till viss kund. Alla restriktioner kan uttryckas i dessa variabler eftersom resursåtgången för den kvalitet eller kvalitetsmix som respektive variabel avser kan framräknas. De variabler som avser försäljning av en kvalitetsmix som innehåller kvaliteter från båda enheterna måste dock spjälkas upp mellan dessa. Därvid går man dock miste om möjligheten att försäkra sig om att försäljningen planeras enligt den tidigare angivna kvalitetsmixen såvida man icke inför typ 3-restriktioner speciellt för detta.

I fig. 48 framgår de i problemformulering 2 ingående restriktionerna.

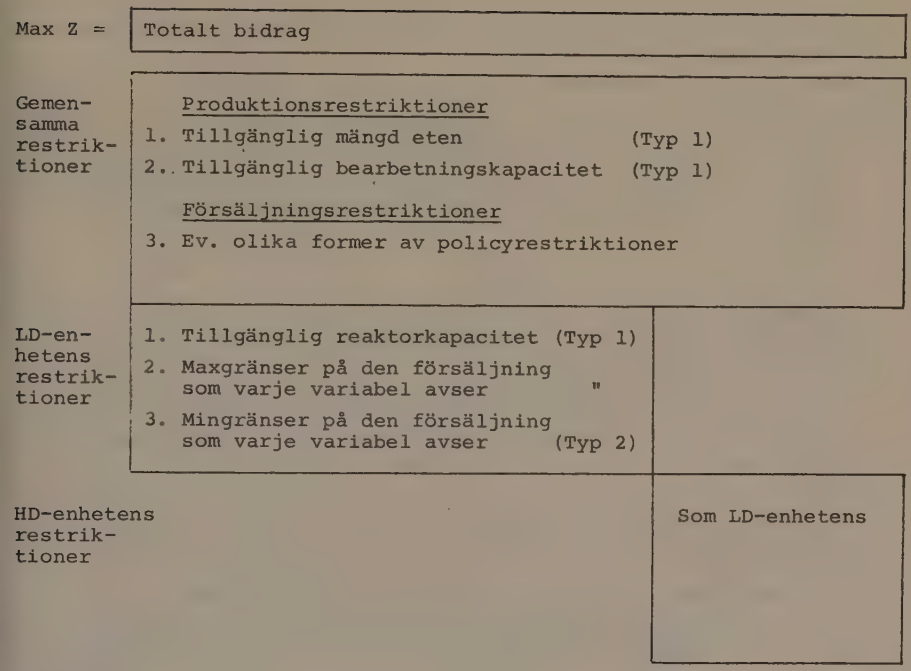


Fig. 48 Restriktionerna i problemformulering 2: Unifos

Målfunktionen

I denna formulering utgörs målvektorerna av bidragen d v s såväl särkostnaderna i produktionen som försäljningsintäkterna för den försäljning som respektive variabel avser.

De gemensamma restriktionerna

Som gemensamma restriktioner ingår för det första de samband mellan tillverkande enheter som ingick i problemformulering 1. Eftersom problemformuleringen avgränsats till enbart producerande enheter måste dock även de försäljningsrestriktioner som där ingick mellan de försäljande enheterna d v s eventuella policyrestriktioner medtas som gemensamma restriktioner. Detta är en följd av att alla de förhållanden som beaktas i formulering 1 även skall beaktas i formulering 2 där endast de producerande enheterna in-

går som LE.

De lokala restriktionerna

Även i de lokala restriktionerna erhålles motsvarande effekt. Dessa består nämligen dels av de restriktioner som avser produktionen och dels de restriktioner vilka avser sådana försäljningsbegränsningar som kan tecknas i endast en producerande enhets variabler.

Vi konstaterar att avgränsningen till att endast betrakta de producerande enheterna som LE medfört en kraftig förändring av den del av problemformuleringen som är att hänföra till dessa enheter. Bl a används i dessa den variabeluppdelning som tidigare användes i de försäljande enheterna d v s variabler uppdelade på kunder.

Kommentarer avseende problemformulering 2:s storleksordning och täthet torde vara överflödiga eftersom i princip samma kommentarer kan göras som i anslutning till problemformulering 1. Vi observerar dock att de gemensamma restriktionerna endast uppgår till två stycken och att tätheten i dessa är mycket hög eftersom alla kvaliteter förbrukar eten och nästan alla bearbetningskapacitet. Detta gäller förutsatt att inga policyrestriktioner medtas.

Problemformulering 3

I denna problemformulering betraktas endast de försäljande enheterna som LE. Som ovan framgått kan samtliga restriktioner uttryckas i de variabler vilka användes i de försäljande enheterna i formulering 1. Vi utgår därför ifrån att denna variabeldefinition används. Restriktionerna i formulering 3 framgår av fig.49.

Max Z =	Totalt bidrag

Gemensamma restriktioner	Produktionsrestriktioner 1. Tillgänglig mängd eten (Typ 1) 2. Tillgänglig bearbetningskapacitet " 3. Tillgänglig reaktorkapacitet i LD-enheten " 4. Tillgänglig reaktorkapacitet i HD-enheten " Försäljningsrestriktioner 5. Ev. olika former av policyrestriktioner
S:s restriktioner	1. Maxgränser på den försäljning som varje variabel avser (Typ 1) 2. Mingränser på den försäljning som varje variabel avser (Typ 1)
D:s restriktioner	Som S

o s v

Fig. 49 Restriktionerna i problemformulering 3: Unifos

Målfunktionen

Samma som i problemformulering 2.

De gemensamma restriktionerna

Samma som i problemformulering 2 förutom att två restriktioner gällande reaktorkapaciteten i de producerande enheterna tillkommit. Dessa två restriktioner kunde i problemformulering 2 uttryckas som lokala restriktioner eftersom de producerande enheterna ingick som LE.

De lokala restriktionerna

Endast max- och mingränser på varje variabel.

Trots att samtliga produktionsrestriktioner i denna problemformulering lagts som gemensamma restriktioner för de försäljande enheterna uppgår antalet gemensamma restriktioner till endast fyra förutsatt att inga policyrestriktioner medtas. Problemformulering 3:s storlek och densitet i övrigt framgår av kommentarerna till formulering 1.

Problemformulering 3 är i många avseenden analog med problemformulering 3 i Iggesund. Subproblemen i båda dessa motsvaras av försäljningsenheter där restriktionerna endast utgörs av max- och mingränser. De gemensamma restriktionerna motsvarar i båda en gemensam produktionsanläggning. I Unifos betraktar vi dock produktionsanläggningen som bestående av två enheter. Dessa tillverkar icke samma kvaliteter och är icke geografiskt åtskilda.

I nästföljande avsnitt där planeringsprocessen uttolkas väljer vi att utgå ifrån problemformulering 2, d v s där enbart de producerande enheterna betraktas som LE. Detta sker trots att vissa invändningar kan resas mot den tolkning som då erhålles. I denna måste som framgår av problemformuleringen all information om marknadsförhållandena beaktas vid planeringen i producerande enheter. I problemformulering 2 ingår dock endast producerande enheter som LE och något sådant exempel har ej utförligt behandlats i de två tidigare fallen.

15.5 DW-planering: Planeringsprocessen

I de tidigare fallen har valet mellan planeringsprocessens tolv tolkningsvarianter skett med utgångspunkt ifrån en intuitivt rimlig fördelning av den i respektive problemformulering ingående informationen. I problemformulering 2 ingår information gällande både produktions- och marknadsförhållanden. All information om produktionsförhållandena förutom tillgängliga mängder av etenet och gemensamma bearbetningskapaciteten antar vi kända av de producerande enheterna. Fördelningen av informationen gällande mark-

nadsförhållandena är dock mindre självklar. Trots detta har vi uttryckt max- och mingränserna gällande försäljningen som lokala restriktioner i problemformuleringen. Om denna inplacering skall behållas krävs för utförande av planeringsprocessen att dessa max- och mingränser är kända av respektive LE. Samtliga tolv tolkningsvarianter av planeringsprocessen kräver som tidigare framgått att samtliga LE har tillgång till sina respektive lokala restriktioner. Vi antar därför i det följande att all information gällande marknadsförhållandena gjorts kända för de producerande enheterna innan planeringsprocessen påbörjas. Därvid erhålles följande informationsfördelning.

Information	Enhet
Variabeluppdelningen	respektive LE
c_j: särkostnaderna i produktionen samt försäljningsintäkterna	" "
A_j: de olika kvaliteternas och kvalitetsmixernas förbrukning av etenet och den gemensamma bearbetningskapaciteten	" "
a : tillgänglig mängd eten samt gemensam bearbetningskapacitet	CE
B_j och b_j: begränsningarna i respektive enhets reaktorkapacitet samt marknadsbegränsningarna	respektive LE

För att de producerande enheterna skall ha möjlighet att utnyttja ovanstående information gällande marknadsförhållanden krävs icke att dessa enheter utför själva försäljningsarbetet. För utförandet av DW-planeringen krävs endast att de producerande enheterna har information om till vilken uppsättning försäljningspriser (kunder) som de olika kvaliteterna kan försäljas samt att de känner max- och mingränserna gällande denna försäljning.

Eftersom endast informationen gällande vektorn a tillförts CE kan tolkning C väljas. Denna tolkning återges i fig. 50.

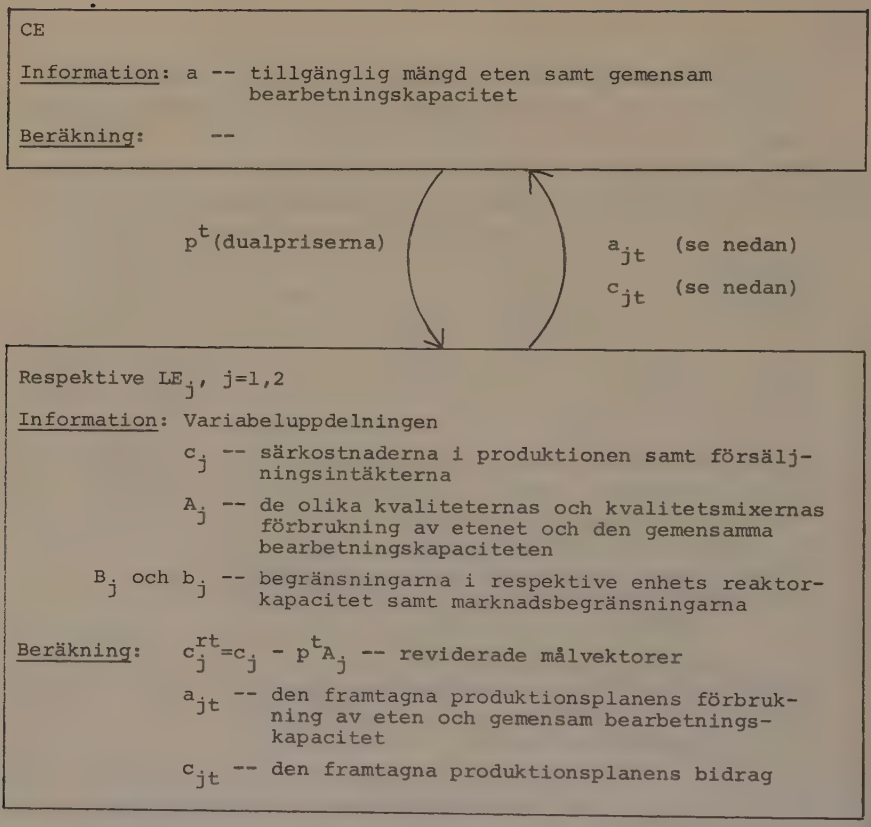


Fig. 50 Iterationsfasen i Unifos, tolkning C

Enligt ovanstående tolkning inleds iterationsfasen genom att CE översänder priser på etenet och den gemensamma bearbetningskapaciteten. De producerande enheterna framtar därefter de produktions- och försäljningsplaner som maximerar deras respektive bidrag. Därvid görs avdrag för förbrukningen av eten och gemensam bearbetningskapacitet värderad till de erhållna priserna. Därefter meddelar de producerande enheterna vilken förbrukning av eten och gemensam bearbetningskapacitet som dessa planer kräver samt vilket bidrag dessa skulle ge när avdrag icke gjorts för förbrukningen av gemensamma resurser. Efter en ny sammanvägning erhåller CE nya priser vilka sänds till de producerande enheterna.

Eftersom de gemensamma restriktionerna endast utgörs av två typ 1-restriktioner kan startfasen utformas så att CE avger höga startpriser på dessa. Eftersom de lokala restriktionerna endast består av en typ 1-restriktion samt max- och mingränser erhålls därvid en tillåten startlösning vid första startförsöket. Om tillräckligt höga priser åsättes etenet och den gemensamma bearbetningskapaciteten erhåller CE planförslag vilka endast utgörs av mingränserna gällande försäljningen. Om etenet och bearbetningskapaciteten icke räcker till för genomförande av dessa planer existerar ingen tillåten lösning.

Under beslutsfasen kan, eftersom tolkning C valts, endast beslutsformen "planvillkor" väljas. Vi bortser då från beslutsformen "priser". Planvillkor skulle här innebära att CE efter trunkering av iterationsprocessen meddelar var och en av de producerande enheterna en viss tilldelning av eten och gemensam bearbetningskapacitet. De producerande enheterna har därefter att framta och genomföra de produktions- och försäljningsplaner som inom ramen för denna resurstilldelning maximerar deras respektive bidrag.

Gällande de tolkningar som kan erhållas med utgångspunkt från problemformuleringarna 1 och 3 inskränker vi oss till att endast påpeka att dessa blir i det närmaste analoga med vissa tidigare tolkningar. Problemformulering 1 gäller samordning av tillverkande och försäljande enheter och innehåller således överföringsrestriktioner. Så är även fallet i problemformulering 1 Iggesund och dessa två tolkningar skulle därför bli i det närmaste analoga. Problemformuleringen 3 gäller samordning av enbart försäljande enheter och tolkningen gällande denna blir därför i det närmaste analog med tolkningen i anslutning till problemformulering 3 i Iggesund.

15.6 DW-planering - nuvarande planeringsförfarande

Liksom i föregående kapitel avslutas även denna fallstudie med en kort karakteristik av det nuvarande planeringsförfarandet och en jämförelse av detta med DW-planeringen där vi berör samma aspekter som i föregående fallstudier.

Planeringen vid Unifos baserar sig i stort på en långtidsplan avseende marknad, produktions- och råvaruförhållanden. Årsbudgeten grundar sig på långtidsplanen och en rullande försäljningsprognos. Den sistnämnda kompletteras med kundernas månatliga beställningsplaner och bildar ett av underlagen för den detaljerade produktionsplaneringen.[1]

Tillämpningen av formaliserade/matematiska planeringsmetoder är av obetydlig omfattning. Långtidsplanen är visserligen datoriserad men inbegriper inga matematiska planeringstekniker. Inte heller vid produktionsplaneringen förekommer sådana.

Ett visst utnyttjande av internpriser förekommer dock. HD-anläggningens lån av bearbetningskapacitet i LD-enheten prissättes och avräknas i efterhand. Vidare avräknas även vissa överföringar av energi från LD- till HD-anläggningen.

De iterativa inslagen i det nuvarande planeringsförfarandet är även i detta fall sparsamt förekommande. Även här följer emellertid budgetarbetet en stegvis procedur men av annorlunda slag än i DW-planeringen. Årsbudgeten byggs upp avdelningsvis, sammanfattas och justeras samt diskuteras av en ledningsgrupp. Därpå stadfästes den och tillställes de två moderbolagen för ändringar och godkännande. Budgetarbetet bedrivs således enligt en stegvis uppbyggnadsprincip som skiljer sig avsevärt ifrån det iterativa funktionssättet hos DW-planeringen.

15.7 Sammanfattning

I avsnitt 15.2 gavs en allmän bild över Unifos Kemi AB, ett relativt ungt företag vilket producerar och säljer producentvaran polyeten.

---

1) En mer detaljerad beskrivning av planeringen av produktion och försäljning av polyeten vid Unifos Kemi AB finns i fig 64, Bilaga 3.

I avsnitt 15.3 beskrevs planeringsproblemet vilket gällde såväl produktion som försäljning av polyetenet. Produktionen skedde i två skilda produktionsanläggningar varav LD-polyeten i den ena och HD-polyeten i den andra. Försäljningen var uppdelad mellan fyra försäljningsregioner.

Vid formuleringen av planeringsproblemet i avsnitt 15.4 urskiljdes sex grupper av aktiviteter: två knutna till de producerande och fyra knutna till de försäljande enheterna. Med utgångspunkt från detta angavs den principiella uppställningen av tre blockangulära problemformuleringar. Formulering 1 med såväl producerande som försäljande enheter som LE, formulering 2 med enbart producerande enheter som LE och formulering 3 med enbart försäljande enheter som LE. Vi konstaterade att de gemensamma restriktionerna blev relativt få när endast producerande eller försäljande enheter ingick som LE. I formulering 1 där båda dessa medtogs tillkom ett större antal gemensamma restriktioner gällande överföringen av olika kvaliteter från producerande till försäljande enheter.

Vid uttolkningen av DW-planeringen i avsnitt 15.5 utgick vi ifrån formuleringen med enbart producerande enheter som LE. Vi konstaterade därvid att informationen gällande marknadsförhållandena måste förutsättas kända av dessa enheter för att möjliggöra uttolkningen av en planeringsprocess vilken kunde genomföras av dessa enheter. Under detta antagande kunde tolkning C väljas. Enligt denna översänder CE vid varje iterations början dualpriser avseende det gemensamma råmaterialet eten och den gemensamma bearbetningskapaciteten. De producerande enheterna beräknar med utgångspunkt från detta optimala planer och meddelar vilken förbrukning dessa medför av eten och den gemensamma bearbetningskapaciteten samt vilka bidrag dessa planer ger.

Vid den avslutande jämförelsen i 15.6 mellan nuvarande planeringsförfarande och DW-planering fann vi uppenbara skillnader på de flesta jämförda punkterna.

16 ERFARENHETER AV FALLSTUDIERNA

16.1 Kapitelöversikt

I detta kapitel skall vi poängtera och diskutera några gemensamma erfarenheter av de tre fallen.

I avsnitt 16.2 framhåller vi några egenskaper hos de problemformuleringar som de tre fallen givit upphov till. Såväl de gemensamma restriktionernas karaktär som variabeluppdelningen diskuteras.

Avsnitt 16.3 behandlar planeringsprocessen där vi inledningsvis kommenterar iterationsfasens tolkning. Därpå berörs effekter av förekomsten av s k överföringsrestriktioner bland de gemensamma restriktionerna på planeringsprocessens samtliga tre faser.

Avsnitt 16.4 utgör ett slutord till hela Del III där fallstudiernas resultat kortfattat karakteriseras och jämförs med vårt angivna syfte med denna del.

16.2 Problemformuleringen

Vid framtagandet av problemformuleringen har vi i fallstudierna tillämpat ett stegvist förfarande där det första steget inneburit val av avgränsning av planeringsproblemet. Som tidigare framgått medför alternativa sätt att uppfatta eller strukturera planeringsproblemet även att olika blockangulära problemstrukturer uppkommer. Sådana alternativa strukturer utgår från en ursprunglig formulering där samtliga aktivitetsgrupper eller enheter motsvarar subproblem. Genom att låta en eller flera av dessa subproblem utgå och låta ifrågavarande verksamhet representeras via de återstående restriktionerna, gemensamma eller lokala, har alternativa blockangulära problemstrukturer behållits.

I de studerade företagen har endast två olika typer av aktivitetsgrupper eller enheter urskiljts: en eller flera produce-

cerande och en eller flera försäljande.[1] Väl att märka har de tre fallen täckt in tre av de fyra möjliga kombinationerna av dessa. Se fig. 51.

	Antal producerande enheter	Antal försäljande enheter
Iggesund	1 (en)	4 (flera)
KemaNord	2 (flera)	1 (en)
Unifos	2 (flera)	4 (flera)

Fig. 51 Kombinationer av olika enheter i de studerade fallen.

I de studerade företagen har beroendeförhållandena mellan enheter av samma slag d v s dels mellan försäljande och dels mellan producerande enheter varit mindre talrika än beroendeförhållandena mellan enheter av olika slag d v s mellan producerande och försäljande enheter. Mellan de producerande enheterna har beroendeförhållandena utgjorts av gemensamt utnyttjande av knappa råvaror (KemaNord, Unifos) och av knapp tillverkningskapacitet (Unifos). Även överföring av halvfabrikat har övervägts (KemaNord). Bindningar mellan de försäljande enheterna har endast diskuterats i form av försäljningspolitiska hänsyn (Iggesund). Beroendeförhållanden mellan producerande och försäljande enheter slutligen har utgjorts av överföring av helfabrikat d v s produkter till försäljning.

Det är rimligt att förmoda att en grund för talrika beroendeförhållanden mellan enheter utgörs av överföringar av halv- och helfabrikat. Detta är naturligt då enheterna ingår i en produktions/distributionskedja. I de fall vi studerat förekommer inga utpräglade sådana relationer mellan enheter av samma slag, endast ett av marginell natur där i vissa extraordinära situationer överföring av halvfabrikat mellan två produktionsenheter kan komma ifråga (KemaNord). Överföringen av helfabrikat från produ-

1) Som tidigare påpekats i samband med respektive fallstudie har vi i dessa ej funnit det motiverat att urskilja en särskild inköpsfunktion. Inget principiellt hinder finns dock för att tilldela den centrala eller en lokal enhet denna verksamhet. Detta påverkar ej problemformuleringen på annat sätt än att fler möjliga formuleringar måste diskuteras.

cerande till försäljande enheter har däremot visat sig kunna få stor betydelse för utformningen av de problemformuleringar i vilka samtliga enheter representeras i form av subproblem. Eftersom antalet produkter/kvaliteter genomgående varit betydligt större än övriga förekommande bindningar och eftersom varje produkt/kvalitet i princip kräver införande av två restriktioner har denna form av beroendeförhållanden blivit den helt dominerande vad gäller antalet.[1]

Vad gäller formuleringen av det blockangulära problemet bör även variabeluppdelningen uppmärksammas. I fallstudierna möter vi svårigheten att välja en uppsättning variabler som diskriminerar mellan de olika fenomen som skall inkorporeras i den blockangulära problemformuleringen.

I målfunktionen gäller det att åstadkomma en variabeluppdelning som förmår avspegla variationer i kostnader och intäkter. I detta hänseende utgör självfallet produkt/kvalité en lämplig indelningsgrund för variablerna. Det kan emellertid visa sig nödvändigt att komplettera denna indelningsgrund med kundkarakteristika och försåld volym. Hänsynen till kundkarakteristika motiveras dels av tillämpningen av prisdifferentiering, där kundens vidareanvändning av den köpta produkten kan utgöra prissättningsgrund (Iggesund), samt dels av förekomsten av försäljningsvillkoret "fritt kund". Det sistnämnda innebär att transportkostnaden till den aktuella kunden skall ingå i målfunktionen som en särkostnad eftersom denna kostnad i detta fall bestrides av det säljande företaget. Indelningsgrunden försåld volym hänför sig till förekomsten av kvantitetsrabatter.[2]

I restriktionerna som avser produktionen är det i första hand av intresse att finna en variabeluppdelning som förmår avspegla

---

1) Se avsnitten 13.4, 14.4 eller 15.4 ovan. Se även avsnitten 7.3 och 7.4 ovan och 16.2 nedan för konsekvenser av talrika gemensamma restriktioner på planeringsprocessen.

2) Tillämpandet av kvantitetsrabatter medför att prisfunktionen blir icke-linjär m.a.p. volymen. Givetvis kan man även tänka sig en icke-linjär särkostnadsfunktion. Denna typ av särkostnader har vi dock ej observerat i våra fallstudier.

variationer i resursförbrukningen. En lämplig utgångspunkt kan här vara en variabeluppdelning efter produkt/kvalité vilken återspeglar en varierande resursförbrukning efter vad som produceras. I ett fall har vi även funnit det rimligt med en variabeluppdelning efter produktionsteknologi för att poängtera en variation i resursförbrukningen efter hur något produceras (Iggesund).

I restriktionerna som avser försäljningen har det främst gällt att i variabeluppdelningen täcka in vissa marknadsförhållanden. Av försäljningspolitiska skäl, strategiska och taktiska marknadsskäl, på grund av ingångna avtal, avgivna löften etc kan man önska reglera försäljningen till enskilda kunder eller till olika kundkategorier. Detta motiverar en variabeluppdelning grundad på vissa kundkarakteristika. Dessa sammanfattas i övre och undre gränser på försäljningen till varje kund eller kundgrupp.

Sammanfattningsvis vill vi för det första kraftigt understryka det faktum att oavsett vilken problemformulering man utgår ifrån så måste denna inbegripa både aktiviteten produktion och försäljning. Detta innebär således att variabeluppdelningen i samtliga tänkbara problemformuleringar måste beakta båda de nyss nämnda kraven från produktion och försäljning, d v s i målfunktionen produkt/kund/volym, i produktionsrestriktioner produkt/teknologi samt i försäljningsrestriktioner kund.

För det andra vill vi betona att man under hela diskussionen om variabeluppdelningen bör observera att det är olika fenomen som variablerna skall diskriminera mellan i målfunktion och restriktioner. I den förstnämnda är det kostnader och intäkter och i de senare kan det vara resursåtgång och marknadsförhållanden. För en och samma indelningsgrund gäller det således att finna en variabeluppdelning som diskriminerar tillräckligt bra både i målfunktion och restriktioner mellan de olika fenomen som dessa omfattar.

För det tredje kan påpekas att variabeluppdelningen kan skilja sig väsentligt mellan olika kolumnblock. När kolumnblocken representerar artskilda aktiviteter leder ju detta även till olika

variabeluppdelningar. Generellt torde det i ett sådant fall krävas färre indelningsgrunder i ett tidigare led i en produktionskedja än i ett senare. Detta illustreras i våra fallstudier där en variabeluppdelning i produkter och eventuellt teknologi i ett producerande kolumnblock via de gemensamma restriktionerna överförs till ett försäljande kolumnblock och där utökas med en ytterligare uppdelning på kunder och eventuellt volym.

Slutligen bör även nämnas att kravet på flerdimensionella variabeluppdelningar, vilket vanligen innebär en avsevärd ökning av antalet variabler, ofta har kunnat motverkas genom förenklingar. Genomgående köper de flesta kunderna endast ett fåtal produkter/kvaliteter och ibland även kvaliteterna i fixa proportioner. Detta har medgett ett förenklat hänsynstagande till indelningsgrunden produkt i ett försäljande kolumnblock.

16.3 Planeringsprocessen

Som tidigare framgått ger ofta en given problemformulering ett visst tolkningsutrymme för planeringsprocessens iterationsfas. I fallstudierna har det avgörande kriteriet vid diskussionen av detta tolkningsutrymme varit informationsfördelningen i varje fall. De i de olika fallen framkomna problemformuleringarna har därvid visat sig kunna ta i anspråk ett flertal av de tidigare diskuterade 12 möjliga tolkningsvarianterna.[1] I detta sammanhang har även framgått att iterationsfasens tolkning i stor utsträckning beror av karaktären av den blockangulära problemformulering som väljes för att representera detta planeringsproblem. En tydlig tendens härvidlag har varit att ju fler enheter av olika slag som representeras som subproblem i formuleringen, desto mindre information hänförs till CE. I extremfallet har CE endast kännedom om vektorn a, d v s de gemensamma restriktionernas högerled.

Vad sedan gäller planeringsprocessens tre faser, startfas, iterationsfas och beslutsfas[2], så har fallstudierna genomgående

---

1) Se avsnitt 5.3 ovan samt fig. 61 , bilaga 2 nedan.

2) Se avsnitt 5.3 ovan.

givit vid handen att problemformuleringar som inbegriper s k överföringsrestriktioner kan innebära nackdelar i samtliga tre faser. Detta är en följd av att dessa restriktioner dels varit talrika där de förekommit och dels formulerats så att de krävt att de tillverkande enheternas produktion av varje kvalitet skall vara exakt lika med de försäljande enheternas sammanlagda försäljning.[1]

Sammanfattningsvis noterades att överföringsrestriktionerna kunde leda till följande nackdelar. Under startfasen kunde svårigheter uppstå vid försök att framta en tillåten startlösning.[2] Under iterationsfasen kunde överföringsrestriktionerna förväntas leda till försämrade konvergensegenskaper.[3] Vidare blev informationsutbytet mer detaljerat p g a överföringsrestriktionerna eftersom LE:s planer uttryckta i de överförda kvaliteterna måste översändas till CE oberoende av vilken tolkningsvariant som tillämpades. Under beslutsfasen slutligen noterades att förekomsten av överföringsrestriktionerna medförde att beslutsformen planvillkor gav ett betydligt mer begränsat handlingsutrymme för respektive LE än när sådana restriktioner saknades.

Gällande det detaljerade informationsutbytet under iterationsfasen samt den förändrade karaktären av beslutsformen planvillkor kan en skillnad noteras mellan producerande och försäljande enheter. Detta sammanhänger med motsvarande kolumnblocks variabeluppdelning. I ett producerande kolumnblock kan variablerna vara uppdelade efter produktkvalitet och eventuellt teknologi vilket medför att det finns minst en överföringsrestriktion för varje variabel. Detta resulterar dels i att en producerande enhet vid varje iteration meddelar den produktionsplan som framtagits och dels i att beslutsformen planvillkor blir identisk med beslutsformen beordrad plan eftersom planvillkoren meddelas i samma termer som variabeluppdelningen. För en försäljande enhet däremot finns icke överföringsrestriktioner motsvarande varje variabel eftersom variablerna inom en sådan enhet även uppdelats

---

1) Se vidare avsnitt 16.2 ovan.
2) Se avsnitt 7.4 och 14.5 ovan.
3) Se avsnitt 7.3 ovan.

på kunder och eventuellt volym. Detta medför att en försäljande enhet under iterationsfasen icke meddelar den framtagna försäljningsplanen i klartext utan endast vad denna motsvarar i försäljning av respektive kvalitet. Vidare medför detta att beslutsformen planvillkor endast specificerar försäljningsplanen i försålda mängder av respektive kvalitet och icke hur denna skall fördelas mellan olika kunder.

16.4 Slutord

Här följer avslutningsvis en kortfattad karakteristik av vad som åstadkommits genom fallstudierna i avsikt att följa upp vårt angivna syfte med denna del.

För det första kan man notera att vi i fallstudierna funnit vår tidigare i tillämpningsanalysen utvecklade teoretiska referensram högst användbar på verkliga planeringsproblem. Framförallt restriktionernas typklassificering och kategoriseringen av de olika tolkningsvarianterna av planeringsprocessens iterationsfas har visat sig högst värdefulla.

För det andra bör poängteras att vi i vart och ett av våra tre fall kunnat framta flera olika varianter av problemformulering och planeringsprocess inom ramen för det i teknisk-ekonomiska termer beskrivna planeringsproblemet. Dessutom utgör dessa variationer på samma tema samtliga meningsfulla ekonomiska tolkningar i termer av respektive planeringsproblem. Vi kan således konstatera att DW-planeringen i de studerade fallen ger en betydande flexibilitet genom sin variationsrikedom.

I det fortsatta driver vi vår tidigare beskrivna "tratteknik" vidare i Del IV där vi begränsar oss till ett av våra ovan behandlade fall: AB Iggesunds Bruk. Detta fall studeras i kvantitativa termer och beskrivningen och analysen kan därför sägas utföras på en lägre beskrivningsnivå än de kvalitativa fallstudierna i denna del.

16.5 Sammanfattning

I avsnitt 16.2 fann vi att våra fallstudier pekade på att beroendeförhållanden mellan LE av olika slag tenderade att vara mer talrika än mellan enheter av samma slag. Detta förhållande förklarades av de frekventa överföringarna av helfabrikat från producerande till försäljande LE i våra tre studerade fall. Detta kan leda till ett mindre önskvärt stort antal gemensamma restriktioner. Vidare diskuterades svårigheten att åstadkomma en variabeluppdelning som diskriminerar mellan de fenomen som skall inkorporeras i problemformuleringen. Dessa fenomen är ju olika för målfunktion, produktions- och försäljningsrestriktioner. Detta förhållande befanns bl a leda till krav på färre indelningsgrunder i ett tidigare led i en produktionskedja än i ett senare.

I avsnitt 16.3 konstaterades inledningsvis att vi i våra tre fall demonstrerat ett flertal av de 12 möjliga tolkningsvarianterna av DW-planeringens iterationsfas. Vidare framhölls att förekomsten av överföringsrestriktioner bland de gemensamma restriktionerna medförde nackdelar i samtliga tre faser av planeringsprocessen.

I avsnitt 16.4 gjordes en avslutande karakteristik av fallstudiernas resultat.

Del IV

SIMULERINGSEXPERIMENT

17 INTRODUKTION

17.1 Kapitelöversikt

Detta kapitel ger en introduktion till simuleringsexperimenten.

I avsnitt 17.2 anger vi och diskuterar simuleringsexperimentens syfte. Därefter följer en redogörelse för vårt tillvägagångssätt genom att den följande framställningens disposition beskrivs och kommenteras.

17.2 Syfte och tillvägagångssätt

I det följande utförs det sista av de tre stegen i vår tidigare beskrivna tratteknik. Liksom i det föregående innebär även detta steg att DW-planeringen konfronteras med ett verkligt, existerande planeringsproblem, men nu sker analysen i kvantitativa termer. Denna kvantitativa studie grundar sig på den tidigare utförda kvalitativa fallstudien av AB Iggesunds Bruk och kvantifieringen av detta planeringsproblem möjliggör ett ytterligare detaljerat och intensivt studium. Eftersom detta innebär en avsevärd sänkning av beskrivningsnivån begränsar vi oss till ett enda fall vilket studeras under samma tidsperiod som tidigare angivits.[1]

Syftet med detta sista steg i vår tratteknik kan formuleras på följande sätt:

> Syftet med simlueringsexperimenten är att kvantifiera vissa konsekvenser av DW-planeringen när denna appliceras på ett verkligt planeringsproblem.

I denna syftesangivelse finns två uppenbara begränsningar varav den senare inriktningen på ett enda fall sammanhänger med vår tratteknik och har kommenterats ovan.

I den först nämnda begränsningen anger vi att endast "vissa" konsekvenser av DW-planeringen kommer att beröras. Dessa ansluter sig till planeringsprocessens tre faser och inbegriper såle-

---

1) Se avsnitt 12.3 ovan.

des konsekvenser av utnyttjandet av olika startförfaranden, konvergensegenskaperna i iterationsfasen samt konsekvenser av tillämpningen av olika beslutsformer. Utöver dessa mestadels tekniska aspekter på DW-planeringen behandlas även avslutningsvis konsekvenser av fusk i planeringsprocessen, d v s den tidigare beskrivna situationen då lokala befattningshavare undanhåller information från centralenheten.[1]

Den följande framställningen har disponerats på följande sätt: inledningsvis redogör vi för indata till simuleringsexperimenten, programmeringen av DW-algoritmen samt genomförandet av datorkörningarna. Denna metodbeskrivning är gemensam både för simuleringen av planeringsprocessen och fusk, med det undantaget att den speciella designen av fuskexperimentet beskrivs i samband med resultatredovisningen av detta.

Därefter följer en redogörelse för utfallet av simuleringen av planeringsprocessen. Denna redogörelse avslutas med en kortfattad redovisning av resultatet av en modifierad problemformulering, med fler lokala enheter än ursprungsformuleringen.

Som påpekats ovan inleds resultatredovisningen av simuleringen av fusk med en designbeskrivning. Fuskexperimentets utfall beskrivs därefter i termer av effekter på konvergensegenskaperna, total och lokal måluppfyllelse samt utformningen av en vägd belöningsbas för undvikande av fusk.

Denna del med simuleringsexperiment avslutas med ett samlande kapitel där våra erfarenheter av dessa experiment sammanställs och diskuteras.

---

1) Se kap. 10 ovan.

17.3 Sammanfattning

I avsnitt 17.2 angav vår syftesformulering att vi genom simuleringsexperimenten avsåg att åstadkomma en kvantifiering av vissa effekter av en tillämpning av DW-planeringen. De därmed åsyftade effekterna är fördelade efter hela planeringsprocessen, d v s såväl i startfasen, iterationsfasen som beslutsfasen. Framställningens disposition kan sammanfattas i följande moment: metodbeskrivning, resultatredovisning av planeringsprocessen samt resultatredovisning av fuskeffekter.

18 INDATA OCH DATORBEARBETNING

18.1 Kapitelöversikt

I detta kapitel behandlas dels uppbyggnaden av den i de följande simuleringsexperimenten använda problemformuleringen och dels programmeringen av DW-algoritmen.

I avsnitt 18.2 ges först en relativt detaljerad bild över problemformuleringens olika delar. Därefter beskrivs hur de olika delarna av problemformuleringen framräknats. Avsnittet avslutas med en kortfattad karakteristik över problemformuleringen.

I avsnitt 18.3 beskrivs programmeringen av DW-algoritmen. Vidare ges vissa uppgifter gällande utförandet av datorkörningarna.

I avsnitt 18.4 beskrivs kortfattat två andra studier avseende planeringsproblem med blockangulär struktur.

18.2 Indata

I avsnitt 13.4 berördes den principiella uppbyggnaden av problemformulering 3 samt vissa överväganden i anslutning till denna. Vi skall i detta avsnitt beskriva insamlandet av data samt ge en mer exakt beskrivning av de i problemformulering 3 ingående delarna.

Vid Iggesunds Bruk AB konstruerades under 1972-73 en totaloptimeringsmodell vilken inkluderade tillverkning och försäljning av såväl cellulosa som kartong. Denna modell, en linjär programmeringsmodell, gällde maximering av totala bidraget med hänsyn till de i cellulosa- och kartongfabrikerna föreliggande begränsningarna samt till marknadsbegränsningar gällande försäljningen av dessa varor. Denna linjärprogrammeringsmodell var uppställd enligt den s k bruttometoden[1] och var av storleksordningen 1200 variabler och 400 restriktioner. Problemformuleringen var således av storleksordningen 500 000 matriselement. Dessutom tillkom ca 1400 max- och mingränser på kundvariablerna. Modellen

---

1) Enligt nettometoden anges i målfunktionen det bidrag som respektive variabel (produkt el dyl) ger. Enligt bruttometoden däremot införes en ny variabel (kolumn) för varje särintäkt och särkostnad. Se exempelvis Laine (1970, sid 7-10).

avsåg budgeterade förhållanden för första halvåret 1974.[1]

Eftersom det av oss studerade planeringsproblemet (tillverkning och försäljning av kartong) motsvarar en del av nämnda totaloptimeringsmodell kunde data till vår problemformulering hämtas från totalmodellen. Detta medför att den av oss formulerade modellen bygger på data som använts av företaget för liknande ändamål. Överväganden om noggrannhet i data, avgränsningar etc har alltså gjorts inom företaget. Detta betraktar vi som en fördel. De data som simuleringsexperimentet bygger på torde därigenom relativt väl överensstämma med de data som skulle ha kommit till användning vid en verklig tillämpning av DW-planering. Eftersom det av oss studerade problemet endast avser kartongframställningen ingår icke i denna överväganden om hur stor andel av cellulosan som skall direktförsäljas respektive vidareförädlas till kartong. Mot bakgrund av att det enligt företaget alltid är lönsamt att utnyttja produktionsanläggningen för kartong i stället för att direktförsälja cellulosa infördes ingen begränsning på cellulosa. Den i kartongframställningen använda cellulosan prissattes dock till alternativkostnaden. Detta behandlas utförligare nedan.

Eftersom den totala modellen uppställts enligt bruttometoden där exempelvis en ny variabel införts för varje kostnadspost och där modellen vidare uppdelats mellan för- och efterbehandling av kartong medförde uppbyggandet av problemformulering 3, vilken formulerades enligt nettometoden, ett avsevärt beräkningsarbete. Om vi bortser ifrån max- och mingränserna på vissa variabler var den del av den ursprungliga bruttomodellen vilken avsåg tillverkning och försäljning av kartong av storleksordningen 1000 variabler och 300 restriktioner d v s ca 300 000 matriselement. Den av oss uppställda nettoformuleringen omfattar 652 variabler och endast 6 restriktioner, max- och mingränserna oräknade. I fig. 52 återges en översiktlig bild över den uppställda nettoformuleringen.

---

1) Data fanns således endast tillgängliga för en period. Någon jämförelse mellan på varandra följande perioder har således icke kunnat utföras.

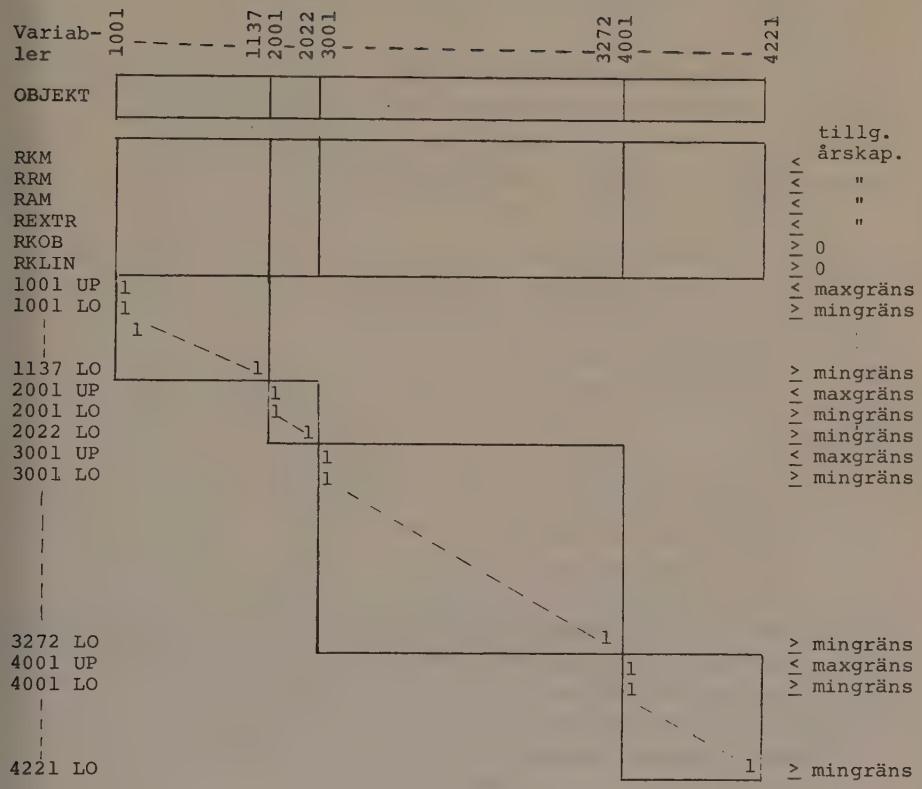


Fig. 52 Problemformuleringen

Vi skall närmast definiera de i problemformuleringen ingående variablerna samt beskriva hur de ingående parametrarna beräknats. Vi förutsätter därvid att den översiktliga beskrivningen samt de överväganden som redovisades i avsnitt 13.4 är kända.

Variablerna motsvarar försäljning i antal ton av viss kvalitetsmix till viss kund. Antalet variabler uppgår totalt till 652 st. Fördelningen av dessa på de fyra försäljningsregionerna är 137, 22, 272 respektive 221 st.

Beskrivningen av hur de ingående parametrarna beräknats sker radvis enligt den i fig. 52 uppställda problemformuleringen.

OBJEKT

De till respektive variabel hänförliga bidragen beräknades som skillnaden mellan följande särintäkter och särkostnader.

Särintäkter:

1. Försäljningspriset på den försäljning som respektive variabel avser.
2. Vissa försäljningsintäkter avseende utskott vilket uppstår vid plastbeläggning av kartongen.

Särkostnader:

1. Alternativkostnaden för den vid kartongframställningen förbrukade cellulosan.

   Denna celullosa (massa) består av såväl barr- som lövmassa. I varje kartongkvalitet ingår en viss given proportion av dessa.

   Den allra största andelen massa överförs till kartongfabriken i flytande form. Viss användning av torkad och balad massa förekommer dock. Denna måste upplösas före användningen i kartongmaskinerna vilket medför en del särkostnader. Skälet till att viss andel balad massa används är att detta medför en produktionshöjande effekt i kartongmaskinerna. För att i problemformuleringen kunna inordna frågeställningen om hur stor andel balad massa som skall ingå krävs att specifika variabler införes för detta. Som framgått av avsnitt 13.5 medför dock detta vissa tolkningsmässiga nackdelar. Vi valde därför att lägga denna frågeställning utanför problemformuleringen och antog vid samtliga beräkningar att andelen balad massa överensstämde med den för året budgeterade. Detta får även ses mot bakgrund av att kapaciteten för upplösning av balad massa är begränsad och att andelen balad massa, vilken är liten, därför kan betraktas som relativt given.

   Alternativkostnaden för barr- och lövmassa beräknades som det för året budgeterade genomsnittliga försäljningspriset för dessa. Eftersom massan torkas och balas innan den säljs

externt korrigierades dock alternativkostnaden avseende den flytande massan med de särkostnader detta medför. Hänsyn togs även till att vissa utskott uppstår vid framställningen och att detta återanvänds.

2. Ovan nämnda kostnader för upplösning av den balade massan. Upplösningen kräver bl a elenergi.
3. Kostnader för ett 15-tal kemikalier vilka beroende på förädlingsgrad ingår i de olika kartongkvaliteterna.[1]
4. Kostnader för den vid plastbeläggningen förbrukade plastråvaran.
5. Kostnader för förbrukning av elenergi och ånga.
6. Kostnader för viror och filter.
7. Emballagekostnader.
8. Utlastningskostnader.

Några transportkostnader förutom utlastningskostnader medtogs icke då dessa debiteras kunden. Som framgår är flertalet av ovanstående kostnader av den arten att de ökar med förädlingsgraden.

Vi övergår så till de gemensamma restriktionerna. I de fyra första av dessa motsvaras koefficienterna i vänsterledet av kapacitetsförbrukningen i tim/ton av den kvalitetsmix som respektive variabel motsvarar. Högerledet motsvaras av tillgänglig årskapacitet. Koefficienterna och högerleden har beräknats på följande sätt.

RKM

Som tidigare framgått gjordes förenklingen att inordna de två kartongmaskinerna i en enda restriktion. Detta skedde av två skäl. För det första leder två skilda restriktioner gällande kartongmaskinerna till stora tolkningsmässiga nackdelar gällande DW-planeringens olika faser.[2] För det andra bedömdes skillnaderna mellan de olika kvaliteternas resursåtgång i de två maskinerna som relativt liten.

---

1) Se avsnitt 13.3 ovan.

2) Detta behandlades i avsnitt 13.4

Innan sammanslagningen av de två kartongmaskinerna skedde beräknades deras respektive restriktioner var för sig. Därvid beaktades dels den kapacitetshöjande effekten som erhölls genom användning av viss andel balad massa och dels effekten av att visst utskott uppstår i de två kartongmaskinerna.

Vänsterledet i den sammanslagna restriktionen beräknades därefter på följande sätt.

För de kvaliteter vilka kunde tillverkas i båda maskinerna beräknades vänsterledets koefficienter som genomsnittet av koefficienterna i de två kartongmaskinernas respektive restriktioner. För de kvaliteter vilka endast kunde tillverkas i en av maskinerna behölls denna koefficient oförändrad.

Högerledet erhölls som summan av de två maskinernas årskapaciteter vilka var lika stora i timmar räknat.

RRM

Vänsterledets koefficienter beräknades som resursåtgången i dessa maskiner per ton av den kvalitetsmix som respektive variabel avser. Högerledet beräknades som tillgänglig årskapacitet i de två rullmaskinerna.

RAM

På motsvarande sätt som RRM dock med den skillnaden att viss inhyrd arkningskapacitet inkluderades i högerledet.

REXTR

På motsvarande sätt som RRM.

RKOB

Denna restriktion avsåg kravet på viss minsta andel obelagda kvaliteter d v s Liner och Foldcart. Detta uttrycktes genom att åsätta obelagda kvaliteter positiva och belagda kvaliteter negativa koefficienter. Koefficienternas storlek bestämdes av det procentuella kravet på obelagda kvaliteter. Koefficienterna korrigerades därefter med hänsyn till andelen obelagda kvaliteter i den kvalitetsmix som respektive variabel avser. Högerledet sattes därmed till noll med olikhetstecknet $\geq$.

RKLIN

Denna restriktion vilken avsåg kravet på viss minsta andel Liner beräknades på motsvarande sätt som RKOB.

Som tidigare framgått består de lokala restriktionerna av enbart max- och mingränser på den försäljning som respektive variabel avser. Samtliga variabler åsattes såväl max- som mingränser. Totalt sju mingränser sattes dock till noll.

Som tidigare framhölls bygger den av oss använda nettoformuleringen på data hämtade från den inom företaget använda bruttomodellen. Vid formuleringen av vår nettomodell gjordes dock sammanfattningsvis följande förenklingar. För det första avser vår nettomodell endast försäljning och tillverkning av kartong. Vid urskiljandet av denna del prissattes cellulosan till alternativkostnad. Andelen balad massa antogs given. För det andra gjordes den förenklingen att de två kartongmaskinerna uttrycktes i en enda restriktion. Dessa förenklingar bedömdes som högst motiverade av de personer inom företaget som ansvarat för konstruktionen av bruttomodellen.

Beräkningen av de i nettoformuleringen ingående parametrarna skedde på dator. För samtliga i datorn utförda operationer kontrollräknades dock enstaka värden för att kontrollera att inga systematiska fel uppstått. För att undersöka om en tillåten lösning existerade till den framtagna nettoformuleringen genomfördes en testkörning med Fas 1-förfarandet. Detta gav en tillåten startlösning på en iteration.

Närmast följer en allmän karakteristik över den framtagna problemformuleringen. Tätheten i de gemensamma restriktionerna framgår av nedanstående uppställning:

RKM	100,00 %
RRM	7,82 %
RAM	67,97 %
REXTR	19,48 %
RKOB	100,00 %
RKLIN	100,00 %

Tätheten i hela blocket av gemensamma restriktioner uppgick till 65,85 %.

De lokala restriktionsblocken består som framgått enbart av max- och mingränser. Detta medför att antalet restriktioner i varje block blir dubbelt så stort som antalet variabler och att tätheten i respektive block blir lika med inverterade värdet av antalet variabler. Detta framgår av nedanstående tabell.

Region	1	2	3	4
Antal variabler	137	22	272	221
Täthet	0,73%	4,55%	0,37%	0,45%

Tabell 1. Antalet variabler och tätheten i de lokala restriktionsblocken.

I de följande avsnitten där DW-planeringens konvergensegenskaper studeras kan det även vara av intresse att ha en uppfattning om "avståndet" mellan max- och mingränserna. Om exempelvis max- och mingränserna åsätts lika värden är ju lösningen till planeringsproblemet helt given. En god uppfattning om det lösningsutrymme som lämnas av enbart de lokala restriktionerna kan erhållas genom att jämföra den totala måluppfyllelse som erhålles om variablerna åsättes värden enligt min- respektive maxgränserna. Vid övergång från min- till maxgränser erhölls en ökning av totala måluppfyllelsen med 35,70 %. Den totala måluppfyllelsen vid optimum ligger som senare kommer att framgå 28,77 % över måluppfyllelsen vid mingränserna.

18.3 Datorbearbetning

Den något modifierade variant av DW-algoritmen vilken beskrevs i fig. 3, avsnitt 2.2, programmerades helt i enlighet med det flödesschema som där återges. Programmet skrevs i FORTRAN.

Startförfarandet (d v s steg 0) utformades som en iteration d v s stegen 1-5 i nämnda figur men med den skillnaden att priserna ges som indata.

För steg 2, d v s lösandet av subproblemen, användes ett förenklat lösningsförfarande. Detta kunde ske p g a att de lokala rest-

riktionerna som framgått endast består av max- och mingränser.[1] För steg 4 d v s lösandet av masterproblemet utnyttjades ett standardprogram för lösande av linjära programmeringsproblem. Som stoppkriterium, d v s steg 5, beräknades respektive δ_{jt} (se fig.2, avsnitt 2.2). Om alla δ_{jt} understeg 10^{-5} ansågs optimum uppnått.[2,3]

Utskriften gjordes så fullständig att fortskridandet av varje iteration kunde följas. I fig. 65, Bilaga 4 ges ett exempel på utskrift från 3:e iterationen under en datorkörning. Där framgår att bl a följande information skrivs ut för varje iteration.

$\bar{p}^t$, p^t,

a_{jt}, c_{jt}, för j=1,...,4

z_t^M och z_{jt} för j=1,...,4

z_t^r och z_{jt}^r för j=1,...,4

Vid optimum skrivs optimala lösningen d v s x_j^o för j=1,...,4 ut.

Samtliga datorkörningar utfördes vid Stockholms Datamaskincentral för högre utbildning och forskning på en IBM 360/75.

Den ovan beskrivna problemformuleringen skalades före lösning på följande sätt. Samtliga kolumner dividerades med 1000. Detta kan sägas innebära att såväl målfunktion som restriktionernas vänsterled uttryckes per kilo istället för per ton. Vidare dividerades var och en av de fyra första gemensamma restriktionerna med 10 d v s högerleden angavs i 10-tal timmar i stället för i timmar.

Uppläggningen samt resultatet av samtliga genomförda datorkörningar redovisas i de följande kapitlen.

---

1) Det förenklade lösningsförfarandet innebar att variabler med negativt element i respektive c_j^r åsattes ett värde motsvarande mingränsen och att variabler^j med positivt element åsattes ett värde motsvarande maxgränsen.

2) I fig. 3, avsnitt 2.2 innebar optimalitetstestet en jämförelse mellan två på varandra följande totala måluppfyllelser. Detta betraktade vi som en förenkling av optimalitetstestet vid en praktisk användning av DW-planeringen. Vid programmeringen visade det sig dock mest praktiskt att använda δ_{jt} som stoppkriterium.

3) Beslutsfasen innefattades således ej i detta program. Programmeringen av beslutsfasen tillkommer senare som ett extra moment.

18.4 Tidigare simuleringsexperiment

Som redan tidigare påpekats råder brist på erfarenheter av DW-planering applicerad på verkliga planeringsproblem. Några studier avseende test av DW-planering på verkliga planeringsproblem i företag synes icke tidigare ha publicerats. En studie utförd av Ross (1969) och en utförd av Kutcher (1969) kan dock nämnas i detta sammanhang. I båda dessa betraktas DW-algoritmen som en planeringsprocess och båda har vidare hämtat data från verkliga planeringsproblem.

Den i studien av Ross uppställda blockangulära problemformuleringen avsåg icke ett företag utan en hel sektor av en ekonomi nämligen jordbrukssektorn i Irland. I denna formulering utgjordes subproblemen av olika geografiska regioner. Målfunktionen gällde maximering av jordbrukarnas inkomster. De gemensamma restriktionerna (8 st) avsåg främst "nationella mål" (krav) avseende olika jordbruksprodukter. Subproblemens restriktioner utgjordes av produktionsbegränsningar inom respektive region.

Denna studie kan dock i detta sammanhang endast tjäna som ytterligare ett exempel på ett blockangulärt planeringsproblem. Visserligen säger författaren att DW-algoritmen skall användas men detta sker, med reservation för den oklara och ofullständiga framställningen, på ett annorlunda sätt än vad som beskrivits i denna framställning.

Studien av Kutcher syftar till att belysa en helt annorlunda frågeställning.

> "Our understanding of the economic structure of the model has been employed to improve the performance of the mathematical-computational procedure." (Kutcher, 1969, sid 519)

Även den av Kutcher uppställda blockangulära formuleringen avsåg jordbrukssektorn nämligen nordvästra delen av Mexico. Problemformuleringens målfunktion gällde maximering av konsument- och producentöverskott. Enkelt beskrivet motsvarade de gemensamma restriktionerna efterfrågeförhållanden medan de lokala restriktionerna motsvarade begränsningar i utbudet. Två skilda typer av variabler förekom i modellen. Den ena avsåg olika former av produktion i de fem regionerna vilka utgjorde var sitt subprob-

lem. Den andra avsåg olika former av centrala aktiviteter (främst "selling and mixing") och dessa variabler ingick således ej i subproblemen.[1] Till skillnad från de av oss uppställda problemformuleringarna ingick således i denna formulering beslutsvariabler vilka var knutna till den centrala enheten och därför ingick i masterproblemet.

Som framgår skiljer sig denna problemformulering kraftigt från den av oss uppställda både vad gäller problemformuleringens struktur och planeringsproblemets innebörd. Vi har därför funnit det föga intressant att ingående söka jämföra de av Kutcher erhållna beräkningserfarenheterna[2] med de som erhålles med utgångspunkt från den av oss uppställda problemformuleringen. I detta sammanhang betraktar vi därför även studien av Kutcher främst som ytterligare ett exempel på ett planeringsproblem med blockangulär struktur.

18.5 Sammanfattning

I avsnitt 18.2 gavs en relativt detaljerad beskrivning över problemformuleringens struktur samt över beräkningen av de i formuleringen ingående delarna. Vi konstaterade att överföringen av data från s k brutto till s k nettoformulering medfört ett stort beräkningsarbete bl a beroende på att en lång rad särkostnader beaktades vid beräkningen av bidragen. Vid den karakterisering av problemformuleringen som gjordes konstaterades bl a att antalet gemensamma restriktioner uppgick till endast 6 och att tätheten i dessa uppgick till ca 66 %.

I avsnitt 18.3 framgick bl a att programmeringen av DW-algoritmen till allra största delen skett i enlighet med den förenklade varianten vilken beskrevs i fig. 3 avsnitt 2.2. Vissa smärre avvikelser gjordes dock av praktiska skäl.

I avsnitt 18.4 redogjordes kortfattat för två andra studier vilka utnyttjar data från verkliga planeringsproblem. Dessa studier konstaterades dock på en rad punkter skilja sig från den av oss genomförda varför ett försök till jämförelse av beräkningserfarenheter tedde sig mindre intressant.

---

1) Problemformuleringens dimensioner framgick i avsnitt 7.3.

2) Det erhållna konvergensförloppet framgick i avsnitt 7.3.

19. SIMULERING AV PLANERINGSPROCESSEN

19.1 Kapitelöversikt

I detta kapitel redovisas resultaten av den datorsimulerade planeringsprocessen.

Avsnitt 19.2 behandlar DW-planeringens startfas där två olika startförfaranden testas. Det ena förfarandet innebär att mycket höga startpriser anges för att snabbt erhålla en tillåten startlösning. I det andra förfarandet eftersträvas startpriser i överensstämmelse med en "kvalificerad gissning" av en erfaren bedömare. Detta med avsikt att få en startlösning med ett högt målvärde.

I avsnitt 19.3 redogör vi för resultaten av simuleringen av iterationsfasen. Här redovisas det erhållna konvergensförloppet och uppnådd konvergenshastighet. Vidare återges även dualprisernas variationer under iterationsfasen samt motsvarande variationer i regionernas efterfrågan på kapacitet i kartongtillverkningen. Här diskuteras även utförda test för att undersöka robustheten i de redovisade konvergensegenskaperna. Slutligen diskuteras även utfallet av estimatet $\bar{z}^M$ och iterationsfasens trunkering.

I avsnitt 19.4 berörs DW-planeringens beslutsfas där utfallet av de tre beslutsformerna beordrad plan, priser och planvillkor redovisas, jämförs och diskuteras. Denna analys utgår ifrån en trunkering av iterationsfasen efter 2, 3, 4 respektive 5 iterationer.

I avsnitt 19.5 redovisas konvergensegenskaperna hos en modifierad problemformulering där de 4 försäljningsregionerna uppdelats i flera beståndsdelar: egna försäljningskontor och försäljningsbolag samt fristående agenter.

19.2 Startfas

Utformningen av startfasen behandlades generellt i avsnitt 7.4 ovan. Som därvid framgick ställdes två krav på startlösningen nämligen dels att denna skall vara tillåten och dels att denna skall

motsvara ett högt värde på totala måluppfyllelsen z^M. Det första av dessa krav måste med nödvändighet vara uppfyllt för att iterationsfasen överhuvudtaget skall kunna ta sin början medan det andra kravet snarast var att se som ett önskemål då detta kunde förväntas förbättra konvergensegenskaperna under iterationsfasen.

Vid simuleringen av startfasen undersöktes möjligheterna att med hjälp av gissade priser styra försäljningsregionerna mot val av sådana planer vilka uppfyller de ovan nämnda kraven. Två simuleringar av startfasen genomfördes: den första i enlighet med det startförfarande som föreslogs vid uttolkningen av DW-planeringen i fallet Iggesund[1] och den andra med priser av samma storleksordning som vid optimum.

Startförfarande 1

Som framgått består de gemensamma restriktionerna i problemformuleringen av 4 st typ 1-restriktioner och 2 st typ 3-restriktioner. Vidare har framgått att varje variabel ingår i två typ 3-restriktioner och i minst en typ 1-restriktion nämligen RKM. Startförfarandet gick ut på att som första gissning avge höga priser på typ 1-restriktionerna. Detta leder försäljningsregionerna mot val av planer vilka uteslutande motsvaras av varje variabels respektive mingräns. Dessa planer måste med nödvändighet utgöra en tillåten startlösning avseende typ 1-restriktionerna om en sådan överhuvudtaget existerar. Om kravet på viss andel obelagda kvaliteter icke är uppfyllt höjs priserna på typ 3-restriktionerna vilket i följande startförsök ger förslag med allt större inslag av dessa kvaliteter.

Eftersom restriktionen RKM avser samtliga variabler medför ett tillräckligt högt pris på denna att samtliga reviderade bidragssiffror blir negativa. Priset på denna restriktion sattes därför något större än

$$\frac{\text{högsta bidrag}}{\text{lägsta koefficient i RKM.}}$$

Självfallet skulle varje tänkbart pris högre än detta ha lett till samma effekt. Alla övriga priser sattes lika med noll.

Som framgått har detta startförfarande utformats främst med tanke

1) Se avsnitt 13.5 ovan.

på att så snabbt som möjligt erhålla en tillåten startlösning d v s uppfylla det första kravet ovan.

Vid simuleringen av startförfarande 1 erhölls en tillåten startlösning vid första startförsöket. Det visade sig således att de planförslag som motsvarades av mingränserna innehöll tillräckligt stor andel obelagda kvaliteter respektive Liner för att uppfylla de två typ 3-restriktionerna. Någon höjning av priserna på typ 3-restriktionerna i syfte att öka andelen obelagda kvaliteter krävdes således icke. Dessa två restriktioner visade sig även i senare simuleringar vara mycket "slacka" och tilldelades icke dualpriser skilda från noll i någon iteration i alla de simuleringar av DW-planeringen som redovisas i det följande.

Den startlösning som erhölls på detta sätt, d v s den lösning som enbart motsvaras av variablernas mingränser, gav ett målvärde som utgjorde 77,7 % av det optimala målvärdet.

Startförfarande 2

Uppläggningen av detta startförfarande skedde främst med tanke på att uppfylla det andra kravet d v s framta en "bra" startlösning. Ett sätt att försöka uppnå detta var som framgick av avsnitt 7.4 att avge startpriser vilka ligger så nära de slutliga priserna som möjligt.

Det är självfallet orealistiskt att anta att CE under startfasen exakt skall kunna ange de slutliga dualpriserna. Om DW-planeringen använts under tidigare perioder och problemformuleringen endast uppdaterats kan möjligheten finnas att CE genom en "kvalificerad gissning" kan ange rätt storleksordning på dualpriserna och använda dessa under startfasen.[1] Vi valde därför att som uttryck för en mycket bra sådan gissning som första startpriser utgå ifrån de dualpriser vilka erhölls vid optimum. Dessa förändrades dock så att tresiffriga priser avrundades till jämna 50-tal och att fyrsiffriga priser avrundades till närmaste 500-tal. De på detta sätt erhållna priserna framgår av tabell 2 nedan.

---

1) Observera att CE icke har möjlighet att genom känslighetsanalys avgöra inom vilka gränser de tidigare erhållna optimala dualpriserna gäller. Detta är en följd av den spridda informationsfördelningen. Vidare bör påpekas att CE ej känner förändringarna i den del av problemformuleringen som tilldelats respektive LE.

Restriktion:	Dualpriser vid optimum (kr/tim)	Startpriser (kr/tim)
RKM	206	200
RRM	235	250
RAM	2312	2500
REXTR	890	900
RKOB	0	0
RKLIN	0	0

Tabell 2. Optimallösningens dualpriser samt startpriserna vid startförfarande 2.

Avsikten var att om dessa startpriser icke gav en tillåten startlösning höja de priser med 10 % vilka motsvarar icke uppfyllda restriktioner.

Även vid simuleringen med dessa priser erhölls en tillåten startlösning vid första startförsöket. Denna startlösning gav ett avsevärt bättre målvärde än det målvärde vilket erhölls vid startförfarande 1. Målvärdet utgjorde hela 97,44 % av det optimala.

Utgången av simuleringen av startförfarande 2 betraktar vi dock som exceptionellt bra. Det erhållna resultatet torde snarast få ses som ett undantag än en regel. Två skäl talar för detta.

För det första kan de första planförslag som erhålles vid denna typ av gissning vara icke tillåtna med avseende på någon gemensam restriktion. Av tabell 3 nedan framgår hur stor procentuell andel av de gemensamma restriktionerna som icke förbrukas av den vid startförfarande 2 erhållna startlösningen.

Restriktion	Ledig kapacitet
RKM	1,71 %
RRM	0,62 %
RAM	4,17 %
REXTR	2,89 %

Tabell 3. Ledig kapacitet vid den genom startförfarande 2 erhållna startlösningen.

Som framgår kräver den erhållna startlösningen en mycket stor andel av samtliga gemensamma resurser. Vid användande av startpriser av samma storleksordning som de optimala priserna är således risken stor för att de först erhållna planförslagen skall vara icke tillåtna. Exempelvis kan nämnas att användande av de optimala priserna (vilket framgår av tabell 17 i bilaga 4) leder till en uppsättning planförslag som för sitt utförande kräver mer än tillgänglig kapacitet i både RKM och REXTR.

För det andra kan det vara svårt att gissa rätt storleksordning på de slutliga dualpriserna. Detta får sägas gälla även om erfarenhet finns av tidigare användande av DW-planering och om problemformuleringen endast uppdaterats. Dels kan iterationsfasen ha trunkerats vilket medfört att de under tidigare planeringsprocesser vid optimum gällande dualpriserna ej blivit kända och dels kan, av de följande testresultaten att döma, de vid optimum gällande dualpriserna starkt förändras vid relativt små förändringar av problemformuleringen. Vid ett försök,vilket redovisas i nästföljande avsnitt,att testa konvergensförloppets robusthet sänktes högerleden (kapaciteten) i de fyra första restriktionerna med 10, 5, 10 respektive 10 %. I tabell 17 i bilaga 4 redovisas vilken effekt detta fick på de vid optimum gällande dualpriserna samt hur stor andel av de gemensamma resurserna som förbrukas av den startlösning som skulle erhållas med dessa priser. I bilagan framgår för det första att samtliga på detta sätt erhållna startlösningar var otillåtna med avseende på minst en gemensam restriktion. För det andra framgår att förändringen av problemformuleringen ledde till stora förändringar av dualpriserna. Exempelvis ledde sänkningen av högerledet i RKM till att dualpriset på denna steg från 206 till 4.469 kr/tim och att dualpriserna avseende RRM och RAM sjönk till noll. Sänkningen av högerledet i RAM ledde till att dualpriset på denna restriktion steg från 2312 till 3473 kr/tim medan dualpriset på RKM sjönk till noll. Vi bedömer det därför som mycket svårt att på förhand uttala sig om dylika effekter på dualpriserna.

De två redovisade startförfarandena kan snarast betraktas som ytterlighetsfall och vi konstaterar att utrymmet för gissning mellan dessa extremer ter sig relativt stort. Hur nära denna gissning bör ligga det ena eller andra ytterlighetsfallet beror själv-

fallet på vilken vikt som tillmäts de två kraven. Något förenklat kan hävdas att höga priser ger startförslag vilka är tillåtna men motsvarar ett lågt målvärde medan låga priser ger förslag med bättre målvärde men att dessa kan vara otillåtna. Vi konstaterar även gällande startfasen att det visade sig mycket lätt att framta en tillåten startlösning. Detta kan förklaras av att typ 3-restriktionerna aldrig blev begränsande.

I de följande simuleringarna av iterations- och beslutsfaserna har vi valt att utgå ifrån den startlösning som erhölls vid startförfarande 1. Detta får ses mot bakgrund av de ovan redovisade svårigheterna med startförfarande 2.

Det konvergensförlopp som erhålles under iterationsfasen när denna utgår ifrån den genom startförfarande 2 erhållna startlösningen behandlas således ej i det följande. Detta konvergensförlopp återges därför i tabell 18 och fig. 66 i bilaga 4. Detta konvergensförlopp som endast resulterar i ett par procents förbättring av Z-värdet har samma principiella utseende som konvergensförloppet efter startförfarande 1. Detta innebär stora förbättringar av målvärdet i början av iterationsfasen och sedan allt mindre. Denna tendens är dock något mindre uttalad vid startförfarande 2.

19.3 Iterationsfas

Som tidigare påpekats sammanfattas planeringsprocessens konvergensegenskaper i konvergenshastighet och konvergensförlopp.[1] I figur 53 och tabell 4 nedan återges det erhållna konvergensförloppet.

---

1) Se avsnitt 7.2 ovan.

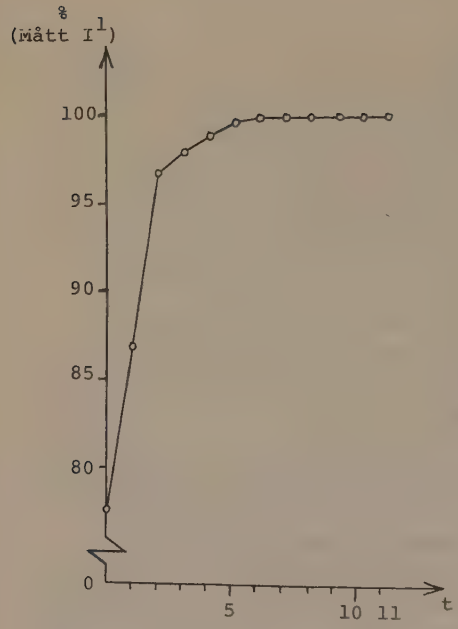


Fig. 53 Konvergensförloppet

Konvergensförloppet (%)				
t	Mått I[1]	Diff.	Mått II[2]	Diff.
0	77,65	9,16	0	40,98
1	86,81	10,12	40,98	45,30
2	96,93	1,07	86,28	4,81
3	98,00	1,03	91,09	4,56
4	99,03	0,71	95,65	3,20
5	99,74	0,18	98,85	0,82
6	99,92	0,06	99,67	0,24
7	99,98	0,02	99,91	0,08
8	100		99,99	0,01
9	100		100	
10	100		100	
11	100		100	
(max)				

Tabell 4. Z^M:s tillväxt

Av ovanstående framgår att en konvergenshastighet på 11 iterationer uppnås och att man redan efter två iterationer erhåller 96,93 % av målfunktionens maximala värde.[3] Man kan även konstatera att efter två iterationer har hela 86,28 % av den maximala förbättringen av startlösningen uppnåtts. Noteras bör att detta konvergensförlopp ter sig mycket gynnsamt jämfört med de flesta publicerade konvergenserfarenheter av DW-algoritmen app-

---

1) Konvergensförloppet: Mått I = z_t^M i % av z_{max}^M; d v s de uppnådda målvärdena i relation till det maximala.

2) Konvergensförloppet: Mått II = $z_t^M - z_0^M$ i % av $z_{max}^M - z_0^M$; d v s startlösningens uppnådda förbättring i relation till den maximala.

3) Observera att tabell 4 avser mastermålvärdet Z^M som ej nödvändigtvis är identisk med den måluppfyllelse som det slutliga planbeslutet resulterar i. Detta senare målvärde kan vid varje iteration både över- och understiga motsvarande mastermålvärde. Se avsnitt 9.3 ovan och 19.4 nedan.

licerad på linjära modeller.[1] Ett gynnsamt konvergensförlopp, speciellt under de första iterationerna, har ansetts vara en betydelsefull förutsättning för en tillämpad DW-planering.[2]

För att ytterligare analysera konvergensförloppet, särskilt med hänsyn till dualprisernas styrande effekt, återges nedan i grafisk form dualprisernas variationer och motsvarande samlade effekt av alla regionernas senast översända planförslag på de gemensamma restriktionerna.[3]

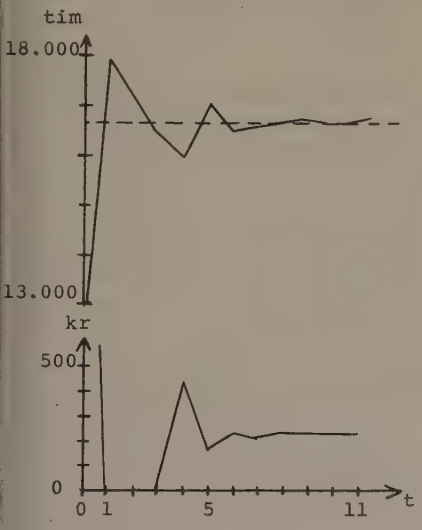


Fig. 54 Dualprisernas variationer (nedre delen av fig.) och den samlade planeffekten på restriktionen RKM_4 (övre delen av fig.)[4]

(Se även tabell 19, bil.4 nedan)

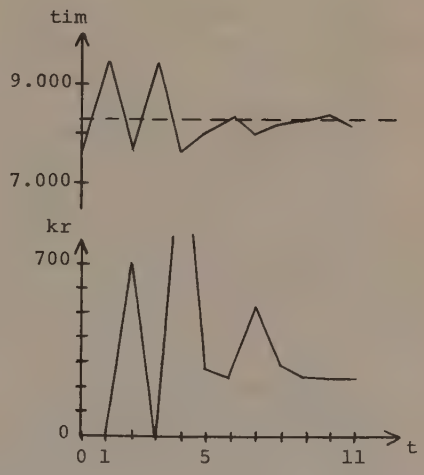


Fig. 55 Dualprisernas variationer (nedre delen av fig.) och den samlade planeffekten på restriktionen RRM_4 (övre delen av fig.)[4]

(Se även tabell 20, bil.4 nedan)

---

1) Se avsnitt 7.3 ovan.

2) Nödvändigheten att i verkliga organisationer begränsa sig till ett fåtal iterationer har varit ett huvudargument i den kritik som riktats mot iterativa planeringsmetoder baserade på matematisk programmering vilka vanligen hävdats kräva alltför många iterationer. Se t ex Jennergren & Müller, (1973, s.336), Kim, (1971, s.408) samt Kornai (1969, s.153,157 och 1973, s.545).

3) Dualpriser och effekter på de två sista gemensamma restriktionerna, RKOB och RKLIN, utesluts här och i fortsättningen eftersom dessa under hela iterationsfasen aldrig blir bindande och därför alltid åsättes dualpriset 0.

4) Den streckade linjen utmärker högerledets värde.

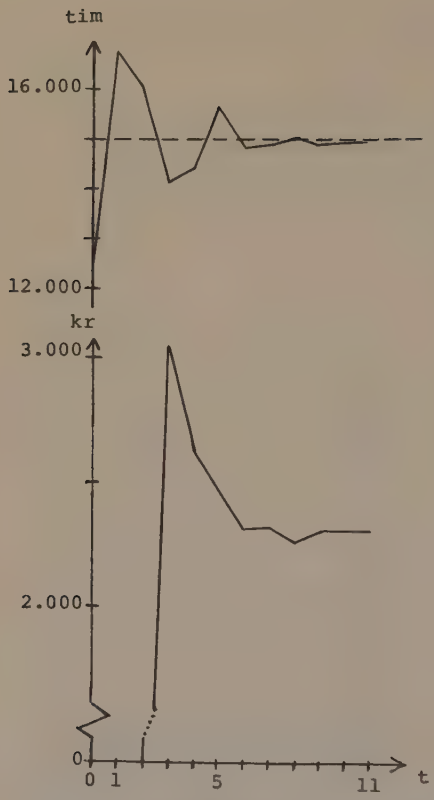


Fig. 56 Dualprisernas variationer (nedre delen av fig.) och den samlade planeffekten på restriktionen RAM. (övre delen av fig.)[1]

(Se även tabell 21, bil.4 nedan)

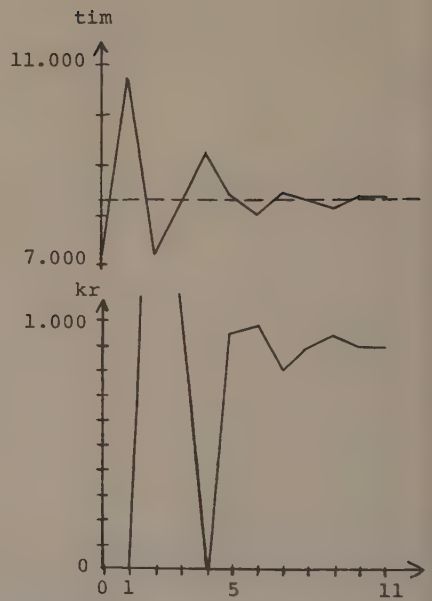


Fig. 57 Dualprisernas variationer (nedre delen av fig.) och den samlade planeffekten på restriktionen REXTR (övre delen av fig.)[1]

(Se även tabell 22, bil.4 nedan)

Om vi först endast betraktar de nedre delarna av ovanstående figurer framgår klart att dualpriserna varierar relativt kraftigt i början av iterationsfasen för att ungefär halvvägs stabilisera sig på sin slutliga nivå. Dessa jämförelsevis kraftiga initiala oscillationer hos dualpriserna kan, med tanke på den karaktär regionernas restriktioner har med övre och undre gränser, tänkas

1) Den streckade linjen utmärker högerledets värde.

vara en bidragande orsak till det gynnsamma konvergensförloppet.[1]

Fluktuationerna i regionernas samlade planeffekt av de senast översända planförslagen ter sig något mindre iögonfallande än prisvariationerna. Den samlade planeffekten visar även en tendens till snabbare stabilisering än dualpriserna.[2]

För att undersöka robustheten i den studerade planeringsprocessens gynnsamma konvergensegenskaper har ett antal smärre förändringar vidtagits i den ursprungliga problemformuleringen. Vi har därvid strävat efter att undersöka realistiska, kortsiktiga förändringar som kan tänkas inträffa under loppet av en planperiod och tänkas ge anledning att påbörja en ny period föregången av en ny iterativ planeringsprocess. Sådana genomgripande förändringar som t ex ny produktionsteknologi och omorganisation undersökes således ej. För det första har ett stort antal förändringar vidtagits i regionproblemens högerled (b_j) motsvarande sänkningar av de övre försäljningsgränserna. Detta har gjorts i stor skala i kap. 20 nedan i syfte att simulera en viss typ av fusk ifrån regionernas sida men kan även motsvara faktiska fluktuationer i kundernas efterfrågan. Det detaljerade resultatet av dessa modifieringar presenteras senare.[3] Sammanfattningsvis kan dock sägas att denna typ av förändringar snarast ledde till ett något gynnsammare konvergensförlopp under tidiga iterationer även om konvergenshastigheten i somliga fall avtog något.

För det andra har de gemensamma restriktionernas högerled (a) minskats för att motsvara en situation med onormalt höga produktionsstörningar, kortare driftavbrott i vissa maskiner etc. En minskning av de fyra första restriktionernas högerled med 10 %

---

1) Av figurerna 54 - 57 ovan och tabellerna 19 - 22 i bilaga 4 nedan framgår att det höga startpriset medför att samtliga regioner väljer en startlösning motsvarande de undre försäljningsgränserna. Eftersom nästa uppsättning priser som därvid genereras alla = 0 för de gemensamma restriktionerna avger regionerna därpå ett förslag som motsvarar de övre gränserna. Masterprogrammet kan därför efter mycket få iterationer väga fram en i målfunktionstermer mycket bra lösning.

2) Respektive regioners planeffekt som ett resultat av olika dualpriser på de gemensamma restriktionerna framgår av tabell 23, bilaga 4 nedan.

3) Se avsnitt 20.3 nedan.

bedömdes realistisk. Denna förändring utfördes för en restriktion åt gången. Därvid befanns att en minskning av den andra restriktionens (RRM) högerled med 10 % gjorde hela problemet otillåtet varför detta högerled endast sänktes med 5 %.

Inte heller dessa förändringar gav några tendenser till markerade förändringar av det gynnsamma konvergensförloppet även om konvergenshastigheten liksom i föregående fall avtog något.[1]

För det tredje planerade vi även att studera effekterna av en realistisk förändring av målfunktionens täckningsbidrag (c_j). Vid en närmare undersökning av de faktiska prisökningarna som förekommit under första halvåret av 1974 visade det sig dock att bidragen påverkats likformigt varför en förändring av dessa i enlighet med den faktiska utvecklingen endast skulle ha inneburit en ökning av varje bidrag med relativt samma andel. Eftersom en sådan förändring av målfunktionen ej kan påverka något annat än värdet av just denna studerades ej detta fall.

Avslutningsvis skall vi i detta avsnitt något kommentera utfallet av estimatet $\bar{Z}^M$ och iterationsfasens trunkering.[2] I figur 58 nedan återges återigen det erhållna konvergensförloppet men här kompletterat med utfallet av estimatet $\bar{Z}^M$. Invid figuren jämförs skattningen av de maximala tillskotten till målvärdet vid varje iteration med de faktiska.

---

1) Se vidare tabell 24, bil. 4 nedan.
2) Se avsnitt 8.3 ovan.

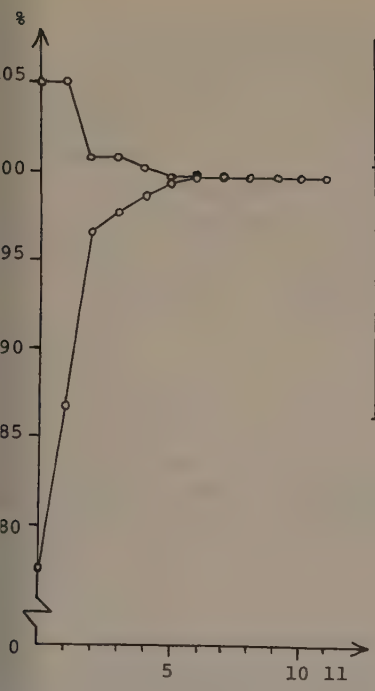


Fig. 58 Konvergensförloppet och utfallet av estimatet $\bar{z}^M$ 1

t	Estimerat maximalt tillskott till z^M: $(\bar{z}^M_t - z^M_t)$	Dito (i % av z^M_t)	Faktiskt tillskott till z^M: $(z^M_{t+1} - z^M_t)$	Dito (i % av z^M_t)
1	19.245.100	35,70	6.356.990	11,79
2	12.888.110	21,39	7.027.030	11,66
3	2.806.390	4,17	745.890	1,11
4	2.060.500	3,03	707.450	1,04
5	891.020	1,30	495.840	0,72
6	201.240	0,29	127.360	0,18
7	73.880	0,11	38.100	0,05
8	16.460	0,02	12.370	0,02
9	4.090	0,00	900	0,00
10	350	0,00	170	0,00
11	50	0,00	20	0,00

Tabell 5. Tillskottet till z^M: Estimerat och faktiskt.

Av figuren ovan framgår att osäkerheten i $\bar{z}^M$ minskar snabbt så att man redan i ett tidigt stadium av iterationsfasen får ett mycket värdefullt hjälpmedel för att fatta ett trunkeringsbeslut. Av tabell 5 ovan framgår ytterligare att det verkliga tillskottet vid varje iteration snabbt "gafflas in"mycket snävt av det estimerade maximala tillskottet. Detta förhållande demonstreras likaså i figur 67 och tabell 25 i bilaga 4 där det även visar sig att man i det studerade fallet kan förvänta sig att i verkligt tillskott till z^M vid varje iteration i genomsnitt erhålla ungefär hälften av det tillskott som estimerats med hjälp av $\bar{z}^M$.

---

1) Vid iteration 1, 3, 6 och 8 är $\bar{z}^M$ konstant eftersom $\dot{z}^M$ ökar vid dessa iterationer och man därför föredrar den föregående iterationens bättre skattning. (Se vidare avsnitt 8.3 ovan.)

Från diskussionen ovan av konvergensförloppet och utfallet av det estimerade tillskottet till Z^M vid varje iteration kan man konstatera att ett bra beslutsunderlag för att avgöra trunkeringsfrågan kan tas fram relativt tidigt under iterationsfasen. Mot bakgrund av de snabbt minskande tillskotten till Z^M vid fortsatta iterationer kan man förmoda att det vid en praktisk tillämpning av DW-planering vanligen måste bli fråga om relativt tidiga trunkeringar av iterationsfasen.[1] Därför kommer vi i det fortsatta att särskilt studera de situationer som uppstår vid en trunkering efter 2, 3, 4 och 5 iterationer.

19.4 Beslutsfas

Simuleringen av beslutsfasen skedde helt i enlighet med de tre beslutsformerna beordrad plan, priser och planvillkor.[2] Nedan följer för var och en av dessa beslutsformer en redogörelse för resultatet av dessa simuleringar.

Beordrad plan

I tabell 6 nedan framgår dels hur stor procentuell andel av maximala Z^M-värdet som erhölls efter respektive trunkering och dels hur stor procentuell andel av de gemensamma resurserna som de valda planerna förbrukar.

---

1) Den exakta trunkeringstidpunkten kan givetvis ej anges enbart på grundval av det i detta sammanhang presenterade materialet. Härför krävs ytterligare situationsspecifik information så att t ex några av de tidigare föreslagna trunkeringsreglerna kan tillämpas. (Se avsnitt 8.3 ovan.)

2) Dessa beskrevs utförligt i avsnitt 9.3 ovan.

Trunkering efter iteration	Z_t^M i % av Z_{11}^M (max)	Ledig kapacitet i % av total kapacitet	
2	96,93	RKM RRM RAM REXTR	1,37 0,68 0 0
3	98,01	RKM RRM RAM REXTR	0 0 0 4,93
4	99,03	RKM RRM RAM REXTR	0 0 0 0
5	99,74	RKM RRM RAM REXTR	0 0 0 0

Tabell 6. Beslutsform: beordrad plan.

Beslutsformen beordrad plan leder som tidigare framgått till val av den plan som framtagits ur sista masterlösningen. Ovanstående tabell har därför främst medtagits för jämförelsen med de två övriga beslutsformerna. Som framgår finns viss ledig kapacitet endast vid trunkering efter 2 och 3 iterationer.

Priser

Tabell 7 avser beslutsformen priser och har uppställts på likartat sätt. I denna har dock en kolumn tillkommit i vilken framgår förändringen i de valda planernas Z-värde vid beslutsformen beordrad plan jämfört med beslutsformen priser.

Trunkering efter iteration	Erhållet Z i % av Z^{M}_{11} (max)	Förändring i % jämfört med Z vid beordrad plan	Ledig kapacitet i % av total kapacitet	
2	96,26	-0,69	RKM	0,89
			RRM	-11,52
			RAM	6,35
			REXTR	4,14
3	97,98	-0,03	RKM	3,43
			RRM	8,49
			RAM	3,64
			REXTR	-10,16
4	102,00	+3,00	RKM	-2,49
			RRM	1,99
			RAM	-4,11
			REXTR	-0,96
5	98,96	-0,78	RKM	0,71
			RRM	-0,86
			RAM	1,31
			REXTR	3,38

Tabell 7. Beslutsform: priser.

Som framhölls i avsnitt 9.3 är den måluppfyllelse som erhålles vid beslutsformen priser ej nödvändigtvis jämförbar med den som erhålles vid andra beslutsformer eftersom beslutsformen priser kan leda till otillåtna planer. Av tabellen ovan framgår att samtliga valda planer är otillåtna med avseende på minst en gemensam restriktion. Exempelvis krävs för genomförande av den vid iteration 2 valda planen en ökning på 11,52 % av den tillgängliga kapaciteten i rullmaskinerna. Trots att samtliga planer är otillåtna ger de dock endast i ett fall nämligen efter 4:e iterationen ett bättre Z-värde än vid beslutsformen beordrad plan. Som framgår är detta Z-värde 2 % högre än maximala Z-värdet. Detta får dock ses mot bakgrund av att det för genomförande av denna plan är nödvändigt att öka kapaciteten i tre av de fyra gemensamma restriktionerna.

Planvillkor

Tabell 8 avser beslutsformen planvillkor. Tabellen har uppställts på motsvarande sätt som den föregående.

Trunkering efter iteration	Erhållet Z i % av Z^{M}_{11} (max)	Förändring i % jämfört med Z vid beordrad plan	Ledig kapacitet i % av total kapacitet	
2	97,66	+0,75	RKM RRM RAM REXTR	0,00 0,00 0,00 0,00
3	98,46	+0,46	RKM RRM RAM REXTR	0,00 0,00 0,00 0,00
4	99,63	+0,61	RKM RRM RAM REXTR	0,00 0,00 0,00 0,00
5	99,89	+0,14	RKM RRM RAM REXTR	0,00 0,00 0,00 0,00

Tabell 8. Beslutsform: planvillkor.

Som framgått av avsnitt 9.3 ger denna beslutsform minst samma Z-värde som beslutsformen beordrad plan. Av tabellen ovan framgår att denna höjning av Z-värdet erhållits i samtliga fall och att denna höjning ligger mellan +0,14 till + 0,75 %. Vad gäller utnyttjandet av den kapacitet som enligt denna beslutsform tilldelas försäljningsregionerna gäller i ett flertal fall att vissa smärre kvantiteter icke utnyttjades. Denna icke utnyttjade kapacitet var dock i samtliga fall av ytterst liten storleksordning och ger som framgår av tabellen inget utslag vid beräkningen av den lediga kapaciteten i % av totala kapaciteten.

Sammanfattningsvis kan vi notera att vi genom simuleringsexperimentet dels kunnat illustrera de generella påståenden som gjordes i avsnitt 9.3 och dels kunnat visa exempel på storleksordningen av dessa effekter. Beslutsformen priser gav otillåtna planer vilka krävde ända upp till drygt 11 %:s ökning av viss gemensam kapacitet för att kunna genomföras. Dessa planer gav såväl högre som lägre Z-värde än beslutsformen beordrad plan. Beslutsformen planvillkor gav i samtliga fall en ökning av Z-värdet. Denna ökning betraktar vi som väsentlig dels mot bakgrund av att den er-

hållna procentuella förbättringen av totala målvärdet är relativt stor och dels mot bakgrund av att förbättringen redan vid trunkering efter 4 och 5 iterationer är av samma storleksordning som den förbättring av målvärdet som dessa iterationer ger. Vid simuleringen av beslutsfasen har således nackdelarna med beslutsformen priser och fördelarna med beslutsformen planvillkor tydligt kunnat demonstreras.

19.5 En modifiering

Som framgått valde vi att vid uppställningen av problemformuleringen betrakta de olika försäljningsregionerna som LE. En annan möjlighet, vilken påpekades redan i avsnitt 13.4,vore att betrakta de egna försäljningskontoren och försäljningsbolagen samt de fristående agenterna som LE och att strukturera problemformuleringen efter dessa.

Detta genomfördes i ett särskilt simuleringsexperiment. Eftersom subproblemens restriktioner endast består av max- och mingränser krävdes för detta endast att variablerna fördelades på 12 subproblem i stället för på 4. Antalet variabler i dessa 12 subproblem uppgick till 137, 22, 106, 7, 112, 23, 22, 99, 35, 67, 15 respektive 4. Vid denna simulering användes startförfarandet med höga startpriser vilket medförde att startlösningen även här utgjordes av mingränserna.

I fig. 59 framgår det konvergensförlopp som erhölls. I tabell 9 vänstra kolumnen framgår hur stor andel av den totala måluppfyllelsen vid optimum som erhållits vid varje iteration. I högra kolumnen har denna jämförts med motsvarande andel vid simuleringen med fyra subproblem.[1]

---

1) Se fig. 53 och tabell 4 i avsnitt 19.3 ovan.

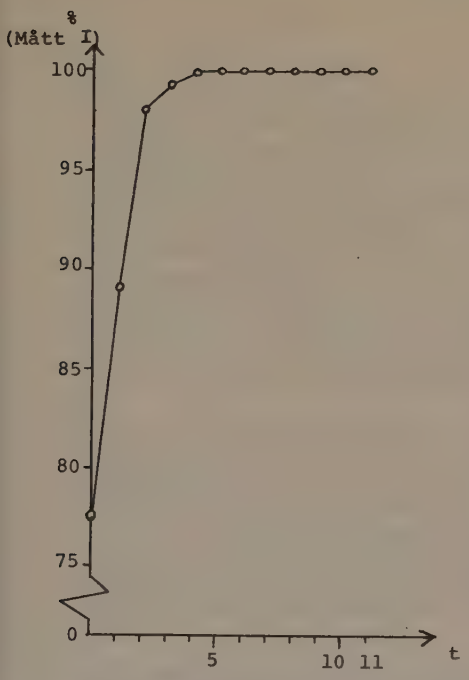


Fig.59 Konvergensförloppet vid modifierad problemformulering

t	z^M_t (i % av z^M_{11} (max) Mått I	Jämförelse med tabell 4 ovan (vid 4 subproblem)
0	77,65	0,00
1	89,01	+2,20
2	97,79	+0,86
3	98,97	+0,97
4	99,88	+0,85
5	99,96	+0,22
6	99,97	+0,05
7	99,99	+0,01
8	100,00	0,00
9	100,00	0,00
10	100,00	0,00
11	100,00	0,00

Tabell 9. z^M:s tillväxt vid modifierad problemformulering

Kommentar: Som framgår nåddes maximum efter 11 iterationer. Det erhållna konvergensförloppet uppvisar samma karakteristiska utseende som vid fyra subproblem. Som väntat[1] erhölls dock under de tidigare iterationerna en snabbare tillväxt i totala måluppfyllelsen.

19.6 Sammanfattning

I avsnitt 19.2 konstaterade vi att båda de undersökta startförfarandena resulterade i en tillåten startlösning vid första startförsöket. Vid det andra startförfarandet, i enlighet med en "kvalificerad gissning",erhölls en startlösning med ett betydligt högre målvärde än i det första förfarandet där vi främst syftade till att snabbt erhålla en tillåten startlösning. I detta sammanhang betonades även svårigheterna att gissa sådana startpriser som ger startlösningar som både är tillåtna och har höga målvärden. Av detta skäl valde vi att i den följande framställningen endast redovisa resultaten av de simuleringar som startats med höga startpriser.

1) Se kommentarerna i avsnitt 7.3.

I avsnitt 19.3 redovisade vi en uppnådd konvergenshastighet på 11 iterationer och ett så gynnsamt konvergensförlopp att man redan efter 2 iterationer erhåller ett målvärde motsvarande 97 % av det maximala målvärdet. Vidare konstaterades att dualpriserna inledningsvis varierar kraftigare än motsvarande efterfrågan från regionerna. Robustheten i de redovisade gynnsamma konvergensegenskaperna befanns vara god. Till sist konstaterades även att estimatet $\bar{z}^M$ i detta fall utgjorde ett bra beslutsunderlag för att avgöra frågan om trunkering av iterationsfasen.

I avsnitt 19.4 konstaterade vi att beslutsformen pris i samtliga studerade fall ledde till icke tillåtna planer. Beslutsformen planvillkor visade sig i samtliga studerade fall ge ett tillskott till målvärdet jämfört med beslutsformen beordrad plan. Denna ökning bedömdes som väsentlig och var i två fall av samma storleksordning som det tillskott en ytterligare iteration skulle ha gett.

I avsnitt 19.5 fann vi att den modifierade problemformuleringen resulterade i ett något mer gynnsamt konvergensförlopp vid tidiga iterationer.

20 SIMULERING AV FUSK

20.1 Kapitelöversikt

I detta kapitel beskrivs uppläggning och resultat av simuleringsexperimenten gällande fusk.

I avsnitt 20.2 beskrivs uppläggningen av simuleringsexperimentet avseende fusk. Där beskrivs dels vilken typ av fusk som experimentet avser och dels experimentets design.

I avsnitt 20.3 beskrivs effekterna av olika grad av fusk på konvergensegenskaperna såväl gällande konvergenshastigheten som konvergensförloppet.

I avsnitt 20.4 beskrivs effekterna av olika grad av fusk på totala måluppfyllelsen z^M. Denna effekt studeras även beroende på vilken av regionerna som fuskar.

I avsnitt 20.5 beskrivs på motsvarande sätt effekterna av fusk på respektive lokalt resultatmått z_j^r. Inledningsvis beskrivs storleksordningen på dessa resultatmått samt hur dessa varierar under iterationsfasen. Därefter beskrivs effekterna av fusk på respektive resultatmått dels uppdelade efter grad av fusk och dels efter i vad mån övriga regioner fuskar.

I avsnittet 20.6 undersöks möjligheterna att framta en vägd belöningsbas i syfte att förhindra fusk. Utformningen av denna vägda belöningsbas studeras därefter för respektive region för olika grader av fusk.

20.2 Experimentdesign

Som tidigare framhållits avgränsar vi oss till sådana former av fusk från regionernas sida som utgörs av undanhållande av information från CE.[1] I DW-planeringen innebär detta att regionerna undanhåller en del av sina tillåtna lösningsmängder i sina subproblem.

---

1) Se avsnitt 10.2 ovan.

I den valda problemformuleringen av Iggesunds planeringsproblem avgränsas försäljningsregionernas tillåtna lösningsmängder av övre och undre gränser för försäljningen till olika kunder. Vi antar här att regionerna fuskar genom att sänka de övre försäljningsgränserna. Flera skäl finns för ett sådant antagande. Ett skäl är att regionerna kan tänkas vilja åstadkomma en viss ledig "säkerhetskapacitet" i sin försäljarorganisation. Ett annat är att regionerna kan tänkas eftersträva en sänkning av dualpriserna på de gemensamma restriktionerna för att därigenom åstadkomma en förbättring av sina lokala resultatmått (z_j^r).[1]

I experimentet simuleras regionernas fusk genom att multiplicera varje element i x_{jt}, som motsvarar en övre försäljningsgräns, med en på förhand fastställd skalär; fuskkoefficienten β_j. Om respektive region fuskar är dess $\beta_j < 1$. annars = 1.[2] Eftersom vi på detta sätt endast avser att åstadkomma sänkningar av de övre försäljningsgränserna tillåts ej dessa i någon av de företagna datorkörningarna att sänkas så mycket att de undre gränserna underskrides.

Vad gäller val av värden på fuskkoefficienten β_j har vi försökt att uppnå stor variationsrikedom vid relativt få datorkörningar. I experimentet valde vi att simulera samtliga kombinationer av "inget", "litet" och "mycket" fusk. Vid studium av problemformuleringen fann vi att en sänkning av de övre försäljningsgränserna med 30 % i många fall hamnade i närheten av de undre gränserna; $\beta_j = 0{,}7$ fick därför motsvara "mycket" fusk, $\beta_j = 0{,}9$ motsvarade "litet" fusk och som ovan sagts motsvaras "inget" fusk av $\beta_j = 1$.

Simuleringsexperimentet utfördes genom att samtliga kombinationer av de tre β_j-värdena för de fyra försäljningsregionerna testades i separata datorkörningar. Detta innebar $3^4 = 81$ körningar varav en körnings β_j-värden samtliga är lika med 1, d v s "inget" fusk. Denna körning finns därför ej med i gruppen av fusksimulerande körningar som redovisas nedan annat än som en referenspunkt i förekommande fall.

---

1) Se avsnitt 10.3 ovan.

2) Ett liknande tillvägagångssätt att simulera fusk har tidigare använts av Jennergren & Müller (1973).

Eftersom man vid en tillämpning av DW-planering på verkliga planeringsproblem kan vara intresserad av en trunkering av det iterativa planeringsförfarandet, framtogs och bearbetades utfallen av de 80 datorkörningarna såväl motsvarande en trunkering efter 2:a, 3:e, 4:e och 5:e iterationen som vid optimum.

20.3 Effekter på konvergensegenskaperna

Vad gäller effekter av fusk på DW-planeringens konvergensegenskaper behandlar vi först konvergenshastigheten och därpå konvergensförloppet.[1]

Analysen av konvergenshastigheten grundar sig, liksom ett antal av de nedan följande resultatredovisningarna, på att de 80 datorkörningarna som simulerar fusk indelats i tre grupper efter graden av fusk. Graden av fusk har därvid för varje körning beräknats som $\sum_{j=1}^{4} \beta_j/4$ och de tre grupperna har definierats som "betydande fusk" $[0,7,\ 0,8]$ "måttligt fusk" $(0,8,\ 0,9]$ och "föga fusk" $(0,9,\ 1,0)$.[2]

---

1) Begreppen konvergenshastighet och konvergensförlopp definierades i avsnitt 7.2 ovan.

2) Om graden av fusk betecknas f så är

$[0,7,\ 0,8] \equiv \{f \mid 0,7 \leq f \leq 0,8\}$

$(0,8,\ 0,9] \equiv \{f \mid 0,8 < f \leq 0,9\}$

$(0,9,\ 1,0) \equiv \{f \mid 0,9 < f < 1,0\}$

Se t ex Chiang (1967, s.143) eller Yamane (1968, s. 36).

Grad av fusk	Konvergenshastighet: (antal it) Fusk - ej fusk	Antal
Föga	+3,89 (2,18)	15
Måttligt	+0,49 (3,44)	47
Betydande	-3,13 (2,39)	18

Tabell 10. Effekten av fusk på planeringsprocessens konvergenshastighet.[1]

Kommentar:För det första kan noteras att ökat fusk tenderar att öka konvergenshastigheten. Intuitivt ter sig detta naturligt eftersom fusk beskär regionernas lösningsmängder. För det andra framgår det att föga fusk medförde en något långsammare konvergenshastighet än vid fallet helt utan fusk och att betydande fusk gav en något snabbare.

I fråga om konvergensförloppet vid fusk har medelvärdet av de 80 datorkörningarnas konvergensförlopp jämförts med körningen utan fusk vid iteration 2, 3, 4 och 5. För att betona olikheten mellan fusk och utan fusk har endast skillnaden beräknad enligt mått II angivits vid olika grader av fusk.[2]

---

1) Vid medelvärden anges här och i det fortsatta alltid standardavvikelsen inom parentes under respektive medelvärde liksom det antal observationer medelvärdet grundar sig på alltid anges till höger om detta.

2) Konvergensförloppet: Mått II definierades i avsnitt 19.3 i anslutning till tabell 4 ovan.

Konvergensförloppet; Mått II: fusk - ej fusk (%)						
Grad av fusk:	Föga		Måttligt		Betydande	
t		Antal		Antal		Antal
2	+1,51 (4,72)	18	+5,96 (6,34)	47	+10,45 (2,95)	15
3	+2,52 (2,22)	18	+6,40 (2,40)	47	+8,20 (0,73)	15
4	+1,20 (1,70)	18	+3,17 (1,55)	47	+4,18 (0,19)	15
5	+0,14 (0,66)	18	+0,66 (0,73)	47	+1,10 (0,13)	15
Medelvärdet 2-5	+1,34 (5,05)	72	+4,04 (4,50)	188	+5,98 (2,00)	60

Tabell 11. Konvergensförloppet vid olika grad av fusk jämfört med utan fusk.

Kommentar: Som framgår gynnas konvergensförloppet av fusk och en klar tendens föreligger till gynnsammare förlopp vid ökat fusk. Den kraftigaste effekten erhålles vid tidiga iterationer där särskilt skillnaden vid iterationerna 2 och 3 vid betydande fusk är markanta.

20.4 Effekter på totala måluppfyllelsen (Z^M)

Effekterna av regionernas fusk på den totala måluppfyllelsen har studerats ur två olika synvinklar: effekten av olika grader av fusk samt effekten beroende av vilken region som fuskar.

Den förstnämnda aspekten, effekten på Z^M avhängig av gradskillnad i fusk, har studerats på liknande sätt som tidigare. De 80 datorkörningarna har klassats i de tidigare definierade kategorierna av fusk där den första kolumnen i tabell 12 nedan anger medelvärdet av de procentuella avvikelserna ifrån Z^M utan fusk vid iteration 2 - 5. Av jämförelseskäl anges även motsvarande avvikelse vid maximum.

Grad av fusk	Avvikelse från z^M(%)			
	Medelvärdet t: 2 - 5	antal	maximum	antal
Föga	-2,03 (1,22)	72	-2,42 (1,49)	18
Måttligt	-5,15 (2,32)	188	-6,12 (2,54)	47
Betydande	-9,68 (2,25)	60	-10,98 (2,19)	15

Tabell 12. Effekten på z^M av olika grad av fusk.

Kommentar: Som man kan vänta sig minskar z^M som ett resultat av fusk. Det finns även en klart markerad tendens till större minskningar vid ökat fusk. Skillnaden mellan den första och andra kolumnen är obetydlig men vid studium av de enskilda iterationerna framgår att förlusten i z^M ökar något vid senare iterationer.[1]

Hittills har ej beaktats vilken av de fyra försäljningsregionerna som fuskar. För att renodla effekten på z^M beroende av vilken av regionerna som fuskar studeras i tabell 13 nedan effekten av att endast en region fuskar "litet" ($\beta_j = 0,9$) och "mycket" ($\beta_j = 0,7$). För en jämförelse av de olika regionernas effekt på z^{M_j} genom fusk har tabell 13 nedan kompletterats med deras respektive andelar av den maximala totala måluppfyllelsen utan fusk. Dessa andelars storlek synes utgöra ett relevant mått på den betydelse som kan tillmätas de enskilda regionernas fusk.

1) Se tabell 26, bilaga 4 nedan.

Fusk av endast:	Avvikelse från Z^M(%) Medelvärdet t: 2 - 5	antal	Rang-ordning	Maxi-mum	Rang-ordning
R1 (β_1=0,9)	-0,89 (0,24)	4	3	-1,01	3
R2 (β_2=0,9)	-0,06 (0,03)	4	4	-0,80	4
R3 (β_3=0,9)	-1,21 (0,24)	4	2	-1,10	2
R4 (β_4=0,9)	-1,66 (0,29)	4	1	-2,17	1
R1 (β_1=0,7)	-2,34 (0,59)	4	2	-2,58	2
R2 (β_2=0,7)	-0,19 (0,08)	4	4	-0,21	4
R3 (β_3=0,7)	-1,80 (0,53)	4	3	-2,48	3
R4 (β_4=0,7)	-3,84 (0,53)	4	1	-4,37	1

Tabell 13. Effekten på Z^M med avseende på vilken region som fuskar och graden av fusk.

	Z_j (i % av Z^M_{max})	Rang-ordning
R1:	25,63	3
R2:	1,73	4
R3:	30,38	2
R4:	42,26	1

Kommentar: Enligt regionernas bidragsmässiga storlek, som redovisas längst till höger ovan framstår R4 som mest betydelsefull med det största bidraget följd av R3 och R1 med likartade bidragsandelar. Den i särklass bidragsmässigt minsta regionen är R2 vars andel av Z^M_{max} endast uppgår till knappt 2 %.

Som väntat återfinns även denna rangordning i huvudtabellen. Fusk av R4 ger den största minskningen av Z^M både vid "litet" och "mycket" fusk. Rangordningen mellan de bidragsmässigt jämspelta R3 och R1 kastas dock om vid "mycket" fusk men den extremt bidragssvaga R2:s fusk ger dock alltid den minsta effekten på Z^M.

20.5 Effekter på de lokala resultatmåtten (z_j^r)

Vi skall i detta avsnitt redogöra för effekterna av fusk på de lokala resultatmåtten z_j^r. Detta sker dels för att klargöra i vad mån försäljningsregionerna genom fusk kan förbättra resultatmåttet z_j^r och dels för att mot bakgrund av detta sedan undersöka möjligheten att framta en belöningsbas för att förhindra fusk. Inledningsvis skall vi dock något beröra detta resultatmåtts egenskaper vad gäller förändring över iterationsfasen samt storleksordning.

Resultatmåttet z_j^r utgörs av skillnaden mellan termerna $c_j\hat{x}_j$ och $p^tA_j\hat{x}_j$. Den senare termen d v s avdraget för förbrukningen av de gemensamma resurserna kan i detta fall hävdas vara relativt stor. Som tidigare framgått utgör det totala avdraget d v s $\sum_{j=1}^{4} p^tA_j\hat{x}_j$ vid optimum hela 69 % av totala måluppfyllelsen z^M. Detta medför att resultatmåtten z_j^r uppvisar samma förlopp under iterationsfasen som priserna p^t d v s de varierar starkt under de första iterationerna och stabiliserar sig därefter mot ett slutligt värde. I tabell 27, bilaga 4 visas hur resultatmåtten varierar över iterationsfasen när fusk icke förekommer. Där framgår bl a att ett fåtal negativa resultatmått erhålls under de första iterationerna. Vad gäller storleksordningen på de lokala resultatmåtten z_j^r gäller för de fyra försäljningsregionerna att dessa vid optimum utgjorde 27,20 %,14,50 %,21,06 % respektive 42,27 % av z_j d v s varje försäljningsregions totala bidrag. Avdraget för förbrukningen av de gemensamma resurserna utgjorde således 72,80 %, 85,80 %, 78,94 % respektive 57,73 % av regionernas bidrag.

I tabell 14 nedan framgår i mycket grova drag den effekt som olika grad av fusk får på resultatmåtten z_j^r. Tabellen har erhållits genom en jämförelse av vart och ett av de fyra resultatmåtten z_j^r under iterationerna 2 t o m 5 vid samtliga 80 körningar med motsvarande resultatmått vid körningen där fusk icke förekommer.

Grad av fusk	Vinstfall förändring i %	antal	Förlustfall förändring i %	antal	Oförändrade fall antal	Andelen förlustfall i %
Föga	+1,67 (2,11)	214	-1,05 (2,89)	60	14	20,83
Måttligt	+2,92 (2,92)	691	-3,49 (5,14)	56	5	7,45
Betydande	+3,55 (3,11)	235	-7,03 (5,05)	5	0	2,08

Tabell 14. Effekten på z_j^r av olika grader av fusk

Kommentar: Av tabellen framgår för det första att antalet vinstfall är klart större än antalet förlustfall.[1] I stort sett gäller således att fusk minskat priserna p^t så att avdraget för förbrukningen av de gemensamma resurserna minskat kraftigare än den bidragsminskning som fusk kan förväntas leda till. Att därav dra slutsatsen att fusk "lönar" sig för de enskilda regionerna är dock förhastat eftersom en sänkning av p^t gottskrives samtliga regioner. En enskild region kan således erhålla en höjning av det lokala resultatmåttet även om regionen i fråga icke fuskat. För det andra framgår att andelen förlustfall minskar med tilltagande grad av fusk. För det tredje framgår att den genomsnittliga förändringen av de lokala resultatmåtten, såväl i vinst- som förlustfallen, ökar med tilltagande grad av fusk.

I tabell 15 anges motsvarande uppgifter, men här uppdelade på var och en av de fyra försäljningsregionerna samt efter i vad mån dessa fuskat.

1) Detta gäller ännu mer markerat vid optimum vilket framgår av tabell 28, bilaga 4.

Region	β_j	Vinstfall föränd-ring i %	antal	Förlustfall föränd-ring i %	antal	Oför.fall antal	Andelen förlustfall i %	
1	1	+2,04 (1,98)	88	-0,13 (0,12)	14	2	13,46	
	0,9	+2,15 (1,74)	90	-0,17 (0,11)	18	0	16,67	12,04
	0,7	+1,98 (1,57)	100	-0,31 (0,23)	8	0	7,41	
2	1	+0,92 (6,31)	100	-1,02 (1,53)	2	2	1,92	
	0,9	+0,70 (5,62)	102	-0,25 (0,08)	6	0	5,55	6,48
	0,7	+0,42 (4,87)	100	-0,41 (0,43)	8	0	7,41	
3	1	+0,55 (3,84)	85	-0,08 (0,20)	12	7	11,54	
	0,9	+0,62 (4,72)	87	-6,78 (2,75)	21	0	19,44	13,89
	0,7	+1,79 (5,61)	99	-14,58 (0,07)	9	0	8,33	
4	1	+0,57 (0,54)	79	-0,17 (0,13)	17	8	16,35	
	0,9	+0,91 (0,52)	105	-0,12 (0,00)	3	0	2,78	2,78
	0,7	+0,84 (0,49)	105	-0,17 (0,01)	3	0	2,78	

Tabell 15. Effekten på respektive Z_j^r av fusk

Kommentar: Vad gäller de enskilda försäljningsregionerna kan noteras att region 2, d v s den bidragsmässigt minsta regionen, har högre andel förlustfall vid fusk än icke fusk. Även den procentuella ökningen av resultatmåttet vid vinstfall avtar för denna region vid ökat fusk. För region 4 däremot, d v s den bidragsmässigt största regionen, gäller det omvända. Genom fusk uppnår denna region såväl en minskning i andelen förlustfall som en ökning av den procentuella ökningen av resultatmåttet vid vinstfall. Den procentuella minskningen av resultatmåttet vid förlustfall är även mindre för denna region. För försäljningsregionerna

1 och 3 vilka båda lämnar mindre bidrag än region 4 kan dock ingen lika klar tendens utläsas. Andelen förlustfall verkar dock högre i dessa än i de båda övriga regionerna. Den lägsta andelen förlustfall uppnås dock för båda dessa regioner vid kraftigt fusk ($\beta_j = 0,7$) vilket skulle kunna tyda på att de först vid kraftigt fusk kan påverka priserna p^t. Tabellen talar således för att fusk icke är "lönsamt" för den bidragsmässigt minsta regionen, att endast kraftigt fusk är "lönsamt" för de båda "mellersta" regionerna men att både mycket och litet fusk är "lönsamt" för den bidragsmässigt största regionen.

Slutligen kan noteras att den procentuella ökningen vid vinst genomgående är större än den procentuella minskningen vid förlust. Detta gäller dock ej region 3 vilket beror på att denna region vid trunkering efter tre iterationer erhöll en extremt hög förlust både till antal och storlek.

Ovanstående tabell talar således för att en viss bidragsmässig storlek krävs för att en region skall kunna påverka priset p^t i så hög grad att resultatmåtten Z_j^r ökar. Denna bidragsmässiga storlek kan självfallet uppnås genom kombinationen av att flera regioner fuskar. Här uppstår således möjligheten för regionerna att genom överenskommelse söka uppnå en sådan grad av fusk att de lokala resultatmåtten förbättras. Om en sådan överenskommelse träffats kan dock en enskild region ha intresse av att bryta denna. Om överenskommelsen bryts kan regionen såväl erhålla en sänkning av p^t (om de övriga regionernas fusk åstadkommer detta) som undgå att utsätta sig för risken att termen $c_j x_j$ i det lokala resultatmåttet minskar. Det är helt uppenbart att en sådan situation kan beskrivas och eventuellt analyseras i spelteoretiska termer.[1] Vi väljer dock att icke vidare utveckla detta resonemang.[2]

---

1) Denna spelsituation har uppenbara likheter med den välkända spelsituationen "fångarnas dilemma" där parterna har intresse av att ingå en överenskommelse och att därefter bryta denna i hopp om att övriga parter skall hålla överenskommelsen. Se exempelvis Luce & Raiffa (1957).

2) I avsnitt 1.3 väcktes idén att använda DW-planering som ett instrument för samordnad planering inom en kartell. Den spelteoretiska ansats som här antytts kan vid en sådan tillämpning bli alltmer aktuell eftersom samarbetsproblemen kan förväntas bli mer uttalade vid en sådan tillämpning. Vid en kartellbildning existerar ingen central enhet med sådana styr- och kontrollmöjligheter som en central enhet inom ett företag kan förväntas ha.

I tabellerna 29 och 30 i bilaga 4 redovisas dock ett försök att klargöra hur de olika försäljningsregionerna bör fuska givet att de har en viss uppfattning om i vad mån övriga regioner fuskar. I denna tabell redovisas för var och en av regionerna motsvarande uppgifter som i tabell 15 men dessa har uppdelats efter i vad mån övriga regioner fuskar. I tabell 30 i bilaga 4 där de erhållna tendenserna studeras framgår vad gäller region 2 att denna genom ökat fusk såväl ökar andelen förlustfall som minskar den genomsnittliga vinsten vid vinstfall och att detta gäller oavsett om de övriga regionerna fuskar "föga", "måttligt" eller "betydande". Detta talar således för att region 2 bör avstå från fusk oavsett i vilken utsträckning övriga regioner fuskar. För de övriga regionerna är dock tendenserna mera oklara och även svåra att relatera till regionernas bidragsmässiga storlek. Vi avstår därför ifrån att vidare kommentera detta utan hänvisar endast till de aktuella bilagorna.

20.6 En vägd belöningsbas

I avsnittet 10.3 diskuterades möjligheten att genom användande av en lämplig belöningsbas söka ge de lokala enheterna incitament att avstå från fusk. Där framhölls avslutningsvis möjligheten att genom en lämplig vägning av resultatmåtten z^M och respektive z_j^r framta en sådan belöningsbas. Tanken var därvid att genom invägning av z^M kompensera den höjning av z_j^r som erhålles genom fusk. Som framgått blev också resultatet av de 80 datorkörningarna att z^M sjönk och att flertalet z_j^r steg. För dessa fall beräknades hur stor vikt som vid framtagandet av belöningsbasen skall ges till det totala resultatmåttet z^M för att respektive försäljningsregion icke skall tjäna på fusk.[1] För samtliga aktuella fall beräknades därför ett α-värde enligt följande:

---

1) I övriga fall är en sådan vägning icke aktuell. Om exempelvis ett z_j^r sjunker krävs ingen invägning av z^M för att fusk icke skall "löna" sig för denna region.

$$\alpha_{ijt} z^{M}_{it} + (1-\alpha_{ijt})\, z^{r}_{ijt} \geq \alpha_{ijt} z^{MF}_{it} + (1-\alpha_{ijt}) z^{rF}_{ijt} \qquad 20.1$$

där i betecknar datorkörningens nummer
j betecknar försäljningsregion
t anger vid vilken iteration trunkering skett och
F betecknar fusk

α-värdena anger således hur stor andel av belöningsbasen som skall utgöras av z^{M} för att regionens belöningsbas när fusk förekommer skall vara lägre än eller lika med belöningsbasen vid ej fusk. Om α_{ijt} löses ut ur 20.1 erhålles

$$\alpha_{ijt} \geq \frac{z^{rF}_{ijt} - z^{r}_{ijt}}{(z^{M}_{it} - z^{MF}_{it}) + (z^{rF}_{ijt} - z^{r}_{ijt})} \qquad 20.2$$

α-värdena erhålles således som kvoten mellan förbättringen i z^{r}_{j} p g a fusk och summan av försämringen i z^{M} och förbättringen i z^{r}_{j}.

I nedanstående tabell framgår för varje region och grad av fusk högsta erhållet α-värde, genomsnittet av de erhållna α-värdena samt standardavvikelse.[1]

Region	Grad av fusk			
	Föga	Måttligt	Betydande	Tendens
1 högsta α	0,92	0,91	0,74	
genomsn. α	0,64	0,63	0,56	
	(0,17)	(0,14)	(0,09)	
2 högsta α	0,84	0,44	0,18	
genomsn. α	0,21	0,17	0,11	
	(0,15)	(0,08)	(0,03)	
3 högsta α	0,91	0,91	0,82	
genomsn. α	0,67	0,73	0,69	
	(0,23)	(0,14)	(0,08)	
4 högsta α	0,88	0,87	0,79	
genomsn. α	0,63	0,66	0,61	
	(0,20)	(0,17)	(0,12)	

Tabell 16. α-värden vid olika grad av fusk

1) Vid beräkningen av α-värdena ersattes olikhetstecknet i 20.2 med likhetstecken.

Kommentar: Vi konstaterar för det första att de erhållna α-värdena kan betecknas som relativt höga och att det totala resultatmåttet således måste utgöra en stor andel av belöningsbasen för att fusk icke skall löna sig. Detta gäller såväl med utgångspunkt från högsta α-värde som genomsnittet av α. För det andra konstaterar vi att α-värdena är högre för bidragsmässigt stora regioner. Detta är naturligt bl a mot bakgrund av att α-värdet beräknats genom en vägning av förändringen i totala målvärdet Z^M och förändringen av respektive resultatmått Z_j^r där de senare avspeglar regionens bidragsmässiga storlek. För det tredje kan man möjligen skönja en tendens till att α-värdena avtar vid ökande grad av fusk. Detta kan förklaras av att minskningen i totala resultatmåttet Z^M vid kraftigt fusk blir så stor att en mindre andel av detta resultatmått i belöningsbasen räcker för att denna skall bli lägre än vid ej fusk.

Om CE vid valet av α-värde vill försäkra sig om att belöningsbasen blir minst lika låg vid fusk som vid icke fusk skall självfallet högsta α-värde väljas. Som tidigare framgått innebär dock fusk, även om α sättes lika med 0, en viss risk för regionerna eftersom en viss andel "förlustfall" inträffar. Att införa ett positivt α-värde kan därmed betraktas som ett sätt från CE:s sida att öka denna risk i syfte att förmå regionerna att avstå ifrån fusk.

Vid val av α-värden kan ovanstående tabell ge en uppfattning om vad som uppnås med olika α-värden. I syfte att studera vilka α-värden som bör ges till en viss region när CE har en uppfattning om i vilken grad denna och övriga regioner fuskar har dock även tabell 31 i bilaga 4 uppställts. I denna framgår α-värden för varje region när dessa fuskar "inget", "litet" eller "mycket" givet att andra regioner fuskar "föga", "måttligt" eller "betydande". I tabell 32 i bilaga 4 där tendenserna studeras framgår bl a att genomsnittliga α-värdet för region 2 sjunker med ökande grad av fusk hos övriga regioner och att detta gäller oavsett hur mycket region 2 fuskar. För region 4 gäller i stort sett det omvända. För regionerna 1 och 3 däremot stiger respektive sjunker α-värdena vid ökande grad av fusk hos övriga regioner när regionerna 1 och 3 fuskar "inget" respektive "mycket".

20.7 Sammanfattning

I avsnittet 20.2 beskrevs designen av simuleringsexperimentet. Där framgick bl a att vi valde att låta fusk innebära att försäljningsregionerna sänkte maxgränserna gällande försäljningen. Tre grader av sådant fusk urskiljdes. Eftersom antalet regioner uppgick till 4 ledde detta till totalt 80 datorkörningar.

I avsnittet 20.3 beskrevs effekterna av fusk på konvergensegenskaperna. Där framgick bl a att ökad grad av fusk tenderade att förbättra dessa.

I avsnittet 20.4 framgick att totala måluppfyllelsen z^M minskade med ökad grad av fusk. z^M påverkades kraftigast av fusk från bidragsmässigt stora försäljningsregioner.

I avsnittet 20.5 beskrevs effekterna på de lokala resultatmåtten z_j^r. Där konstaterades bl a att fusk tenderade att öka de lokala resultatmåtten. Vidare konstaterades tendensen att bidragsmässigt små enheter förlorar på fusk medan bidragsmässigt stora enheter tjänar på fusk.

I avsnittet 20.6 undersöktes möjligheten att genom en vägning av z^M och respektive z_j^r framta en belöningsbas för att förhindra fusk. Där konstaterades bl a att en relativt stor vikt måste ges till z^M för att belöningsbasen skulle sjunka vid fusk.

21 AVSLUTNING: ERFARENHETER AV SIMULERINGSEXPERIMENTEN

21.1 Kapitelöversikt

I avsnitt 21.2 summeras några betydelsefulla erfarenheter från simuleringen av planeringsprocessen grupperade efter de tre faserna startfas, iterationsfas och beslutsfas.

I avsnitt 21.3 redogör vi för några viktiga resultat från fuskexperimentet. Här sammanfattas inverkan av fusk på konvergensegenskaperna, total och lokal måluppfyllelse samt belöningsbasens utseende.

Avsnittet 21.4 bildar slutordet till simuleringsexperimenten. Detta inleds med en kort betraktelse över validitetsbegreppet följt av en diskussion av validiteten i våra experimentresultat.

21.2 Planeringsprocessen

Erfarenheterna av simuleringen av planeringsprocessen kan grupperas efter planeringsprocessens tre faser: startfas, iterationsfas och beslutsfas.

Avseende startfasen noteras att båda de tidigare skisserade startförfarandena med gissade startpriser på de gemensamma restriktionerna omedelbart gav en tillåten startlösning.[1]

Vad gäller iterationsfasen kan framhållas det gynnsamma konvergensförloppet där blott två iterationer gav en mycket hög måluppfyllelse. Även konvergenshastigheten kan betecknas som förmånlig eftersom det optimala målvärdet uppnåddes på endast 11 iterationer. Vidare tyder genomförda test på att robustheten i dessa gynnsamma konvergensegenskaper är god.[2]

Ifråga om beslutsfasen visade det sig att tidigare beskrivna egenskaper hos de olika beslutsformerna framgångsrikt kunde demonstreras.[3] Beslutsformen pris visade sig i samtliga studerade fall leda till ogenomförbara planbeslut. Beslutsformen planvill-

---

1) Se avsnitt 19.2 ovan.

2) Se avsnitt 19.3 ovan.

3) Se avsnitt 9.3 ovan.

kor gav överlag en ökad total måluppfyllelse som i vissa fall var av samma storleksordning som en ytterligare iteration skulle ha gett upphov till.[1]

Erfarenheterna av simuleringen av planeringsprocessen kan således sammanfattas i följande punkter:

- o Inga startsvårigheter
- o Gynnsamma konvergensegenskaper med god robusthet
- o Beslutsformen priser gav ej genomförbara planbeslut
- o Beslutsformen planvillkor gav betydande tillskott till den totala måluppfyllelsen.

21.3 Fusk

Våra erfarenheter av simuleringen av regionernas fusk i planeringsprocessen berör konsekvenserna för konvergensegenskaperna, totala och lokala måluppfyllelsen samt egenskaperna hos en vägd belöningsbas som förhindrar fusk.

Ifråga om konvergensegenskaperna bör noteras att ökat fusk inverkade gynnsamt både på konvergenshastighet och konvergensförlopp.[2]

Fusk medförde vidare att den totala måluppfyllelsen minskade. Vad avser effekten av enskilda regioners fusk visade sig deras relativa bidragsmässiga storlek vara ett lämpligt mått på deras respektive inverkan på den totala måluppfyllelsen.[3]

Resultaten av fusksimuleringen ger även vid handen att fusk tenderar att öka den lokala måluppfyllelsen. För den bidragsmässigt minsta regionen ökade dock andelen förlustfall samtidigt som den procentuella ökningen i vinstfallen avtog. För den bidragsmässigt största regionen var detta förhållande omvänt medan de mellanstora regionerna ej uppvisade någon lika entydig tendens. Man kan således säga att bidragsmässigt stora enheter har ett bättre motiv att fuska än små enheter.[4]

---

1) Se avsnitt 19.4 ovan.
2) Se avsnitt 20.3 ovan.
3) Se avsnitt 20.4 ovan.
4) Se avsnitt 20.5 ovan.

Vad slutligen gäller egenskaperna hos den vägda belöningsbasen kan man för det första konstatera att för att helt eliminera möjligheten för respektive LE att höja det lokala resultatmåttet Z_j^r krävs att en stor andel av den totala måluppfyllelsen vägs in i belöningsbasen. Denna andel blir även större ju bidragsmässigt större regionen ifråga är. Dock varierar andelen även med graden av fusk; kraftigt fusk kräver en invägning av en mindre andel av den totala måluppfyllelsen än obetydligt fusk.[1]

Erfarenheterna av simuleringen av regionernas fusk kan således sammanfattas i följande punkter:

- Fusk gynnade konvergensegenskaperna
- Fusk minskade totala måluppfyllelsen
- Fusk tenderade att öka den lokala måluppfyllelsen
- Bidragsmässigt stora enheter har större motiv att fuska än små
- För att helt eliminera möjligheten för respektive LE att höja det lokala resultatmåttet Z_j^r krävs att regionerna ansvarar för en stor andel av den totala måluppfyllelsen.

21.4 Slutord

Inledningsvis vill vi påminna om att syftet med simuleringsexperimenten snarast varit av exemplifierande karaktär utan anspråk på generalitet utanför de ramar som exemplet anger. Trots dessa restriktiva förutsättningar vill vi inte utesluta att vissa av experimentresultaten kan äga giltighet utanför dessa ramar. Av denna anledning berör vi därför inledningsvis validitetsproblemet i allmänna termer följt av en diskussion av validiteten i resultaten från simuleringen av planeringsprocessen och simuleringen av fusk.

Ifråga om begreppet validitet och dess uttolkning råder en viss terminologisk förbistring. I denna framställning utnyttjas dock distinktionen intern-extern validitet som föreslagits av Guttman (1950, s. 57-59).[2] Med intern validitet avses definitions-

1) Se avsnitt 20.6 ovan.

2) Denna distinktion har även utnyttjats av andra, se t ex Blalock & Blalock (1968, s.390-392), Rosengren (1972,s.85) och Zetterberg (1964, s.114-123).

problemet, d v s överensstämmelsen mellan teoretisk och operationell definition. Med extern validitet avses förutsägelseproblemet, d v s i vilken mån man kan förutsäga en annan variabels mätvärde utifrån det erhållna. Begreppet intern validitet avser således en logisk relation medan den externa validiteten avser en empirisk.[1]

Vad gäller simuleringsexperimentens interna validitet kan noteras att DW-planeringens funktionssätt definieras av DW-algoritmen som ju helt och hållen är definierad uteslutande i teoretiska termer. Begreppet intern validitet kan därför hävdas vara föga relevant ifråga om simuleringen av planeringsprocessen. Vid simuleringen av fusk utgick vi från en teoretisk definition av fusk varmed avsågs regionernas undanhållande av information från CE. För det första kan man med anledning härav ifrågasätta denna teoretiska definitions relation till den i allmänt språkbruk vedertagna bruksdefinitionen av fusk. Härvid blir uppenbart att den valda teoretiska definitionen visserligen torde kunna betecknas som en form av fusk men inte på långt när täcker in alla tänkbara former av fusk. För det andra gäller det frågan om den interna validiteten i fuskexperimentet. Den teoretiska definitionen "undanhållande av information" har operationaliserats som undanhållande av lösningsmängd på så sätt att en "fuskkoefficient", β_j, utnyttjats för att sänka de övre försäljningsgränserna på kundvariablerna. Både det förenklade förfarandet med en fuskkoefficient, varigenom varje försäljningsgräns för en region sänks proportionellt lika mycket, samt förhållandet att vi endast undersöker effekten av en sänkning av de övre försäljningsgränserna påverkar naturligtvis fuskexperimentets interna validitet. Motiven för denna experimentdesign har dock redovisats ovan.[2]

Simuleringsexperimentens externa validitet är kanske av större intresse eftersom den avgör i vilken mån våra resultat kan generaliseras till situationer som i något avseende avviker från

---

1) Som exempel på den rådande förbistringen kan påpekas att denna distinktion av Magnusson (1961, s.133-134) betecknas med termerna innehållsvaliditet respektive prognostisk validitet medan Swedner (1970, s.101-103) använder begreppen logisk validitet och empirisk validitet.

2) Se avsnitt 20.2 ovan.

de förhållanden som rått i experimentsituationen. Av detta skäl kan man naturligtvis tala om många olika externa validiteter beroende på vad experimentet hävdas förutsäga. I vårt fall kan man tänka sig flera alternativ som t ex resultatet av andra liknande experiment, resultatet av användningen av DW-planering på företaget Iggesunds Bruk, resultatet av användningen av DW-planering på andra företag i papper & massabranschen, resultatet av användningen av DW-planering i andra branscher etc.

Vid ett försök att fastställa våra simuleringsexperiments externa validitet är vi snarast hänvisade till den "omedelbart upplevda validiteten" (face validity), eftersom jämförelsematerial saknas i form av liknande experiment eller i praktiken tillämpad DW-planering.[1] Vid en sådan subjektiv bedömning av den externa validiteten i våra simuleringsexperiment bör man komma ihåg alla de typer av avgränsningar under vilka de utförts. Bland betydelsefulla sådana kan påminnas om att experimenten endast avser statiska, deterministiska och linjära förhållanden där hela planeringsförfarandet genomförs med algoritmens krav på perfekt rationalitet. I experimenten har vi valt att huvudsakligen studera tekniska aspekter av DW-planeringen vilket medför att resultatens externa validitet torde vara svår att avgöra för t ex en användning av DW-planering på ett företag. Vid en praktisk tillämpning tillkommer ju en lång rad faktorer vars effekter på utfallet av DW-planeringen är mindre väl kända.[2]

Emellertid bedömer vi experimentresultatens externa validitet som god vad gäller förutsägelser av utfallet av andra liknande experiment. Man bör observera att detta är ett betydelsefullt steg i rätt riktning med tanke på den tidigare bristen på sådana experiment. Tidigare beräkningserfarenheter av DW-algoritmen applicerad på andra typer av indata har mestadels varit mer negativa än de som i detta fall grundar sig på ett existerande företags planeringsproblem. Likaså synes motiven till och efekterna av fusk samt framförallt de goda möjligheterna att för-

---

1) För en definition av begreppet "face validity" se t ex Rosengren (1972, s.87) eller Swedner (1970, s.101-102).

2) Mot bakgrund av dessa förhållanden torde ej heller en jämförelse av DW-planeringens uppnådda målvärde med det faktiska resultatet av Iggesunds kartongförsäljning vara särskilt meningsfull.

hindra fusk varit föga kända tidigare. Att sådana förhållanden klarläggs får anses vara ett nödvändigt om än inte tillräckligt villkor att uppfylla på vägen mot en fullständig belysning av denna typ av planeringsmodellers tillämpningsproblem.

21.5 Sammanfattning

Vid summeringen av erfarenheterna av simuleringen av planeringsprocessen i avsnitt 21.2 framhölls bl a frånvaron av startsvårigheter, de gynnsamma och robusta konvergensegenskaperna samt det karakteristiska utfallet av de olika beslutsformerna.

I avsnitt 21.3 erinrades om att förekomsten av fusk gynnar konvergensegenskaperna samt minskar det totala men ökar det lokala resultatmåttet. Vidare framhölls stora enheters goda möjligheter att förbättra det lokala resultatmåttet z_j^r och det långtgående ansvar för den totala måluppfyllelsen som måste utkrävas för att denna möjlighet skall elimineras.

I avsnitt 21.4 diskuterade vi validiteten i resultaten från våra simuleringsexperiment. Avsnittet inleddes med en distinktion mellan intern och extern validitet. Vid vårt försök att bedöma experimentresultatens interna och externa validitet upplevde vi problem med snäva operationaliseringar av teoretiska begrepp samt restriktiva avgränsningar vid experimentens design. Vid en sammanfattande bedömning konstaterades emellertid att experiment av denna typ är både nödvändiga och betydelsefulla steg på vägen mot en helthetsbild av tillämpningsproblemet.

22 SLUTSATSER OCH VIDARE FORSKNING

22.1 Kapitelöversikt

I avsnitt 22.2 sammanfattas studiens slutsatser. Därvid läggs tonvikten på de slutsatser som vi bedömer utgör de största tillskotten till forskningen på området.

I avsnitt 22.3 ges uppslag till fortsatt forskning samt vissa synpunkter avseende inriktningen av denna.

22.2 Slutsatser

Erfarenheterna och slutsatserna av vår studie av DW-planeringen hänför sig dels till planeringsproblemets formulering och dels till planeringsprocessens utformning och egenskaper.

Ifråga om problemformuleringen visar både den teoretiska tillämpningsanalysen och fallstudierna att DW-planeringen lämnar ett generöst tolkningsutrymme, d v s fenomen av vitt skilda slag kan inkorporeras i den blockangulära problemformuleringen. Detta utgör naturligtvis en betydelsefull insikt vad gäller DW-planeringens applikationsområde.

Vidare har vår typklassificering av problemformuleringens restriktioner visat sig vara ett värdefullt hjälpmedel för att analysera olika formuleringars egenskaper.

Den mest betydelsefulla slutsatsen i samband med problemformuleringen torde emellertid vara att våra erfarenheter av fallstudierna klart visar att formuleringen av planeringsproblemet snarare är en bedömnings- och avvägningsfråga än något som på förhand kan betraktas som givet. Olika avgränsningar och strukturering av samma i teknisk-ekonomiska termer beskrivna planeringsproblem kan resultera i ett flertal olika problemformuleringar med radikalt olika tolkningsmöjligheter avseende planeringens utförande.

Vad gäller planeringsprocessen erinrar vi inledningsvis om vår specificering av DW-planeringens utformning i startfas, iterationsfas och beslutsfas.

En första betydelsefull insikt beträffande planeringsprocessen är ju att den kräver speciella startförfaranden. Våra erfarenheter av simuleringsexperimenten visar att de av oss föreslagna startförfarandena är tillämpliga på ett verkligt planeringsproblem.

Vad beträffar iterationsfasen visar fallstudierna att en stor del av iterationsfasens variationsrikedom i form av de 12 tolkningsvarianterna kan komma att tas i anspråk vid praktiska tillämpningar av DW-planering.

En mycket betydelsefull erfarenhet avseende iterationsfasens förlopp är de gynnsamma konvergensegenskaperna. Visserligen har dessa gynnsamma konvergensegenskaper endast konstaterats föreligga hos ett enda verkligt planeringsproblem men det finns skäl att förmoda att detta kan vara karakteristiskt för många planeringsproblem på företagsnivå. I samband med resultatredovisningen av simuleringen av planeringsprocessen har vi antytt att de gynnsamma konvergensegenskaperna med stor säkerhet kan tillskrivas den speciella strukturen på subproblemen, vilka uteslutande bestod av restriktioner motsvarande övre och undre försäljningsgränser. Om denna speciella struktur utgör en väsentlig förklaringsgrund för de gynnsamma konvergensegenskaperna kan våra resultat generaliseras till att gälla samtliga problemformuleringar med en liknande struktur. Detta är en betydelsefull generaliseringsmöjlighet eftersom den studerade problemstrukturen snarare torde vara regel än undantag vad gäller företags planeringsproblem. Det synes helt uppenbart att det för ett företag på kort sikt finns ett flertal motiv att reglera sin försäljning till enskilda kunder eller olika kundkategorier. Bland sådana motiv finns försäljningspolitiska skäl, strategiska och taktiska marknadsskäl, avtal, kontrakt, löften, kundhänsyn etc. Därtill kommer att problemformuleringens linjära egenskaper kan bli mycket dåliga approximationer till faktiska kostnads- och intäktsfunktioner om produktion/försäljning i modellen tillåts variera inom mycket stora intervall. Ett ytterligare argument är att man måste anpassa den kortsiktiga planeringen efter den långsiktiga. Även detta utgör ett motiv att reglera den kortsiktiga produk-

tionen/försäljningen.[1]

Vi vill även erinra om våra slutsatser rörande önskvärdheten av och de praktiska möjligheterna att trunkera den iterativa processen. Detta kan ske genom att utnyttja någon av de föreslagna trunkeringsregler vars egenskaper även i vissa fall demonstrerats empiriskt i simuleringsexperimenten.

En annan grundläggande insikt är att det slutliga planbeslutet inte automatiskt kommer till stånd i och med att iterationsfasen avslutats. Härför krävs en uppsättning beslutsformer vars tillämplighet vi visat vara beroende av vilken tolkningsvariant av DW-planeringen som utnyttjats i iterationsfasen. Vi vill även erinra om våra slutsatser rörande beslutsformernas egenskaper vilka vi lyckats ge både en teoretisk och empirisk belysning.

Slutsatserna och erfarenheterna avseende planeringsprocessen kan avslutas med att vi konstaterar att det i DW-planeringen kan finnas motiv för de lokala befattningshavarna att fuska genom att undanhålla information från den centrala nivån. Av simuleringsexperimenten framgår hur en belöningsbas kan utformas för att söka eliminera motivet till fusk.

Vid en avslutande samlad värdering av vår studie kan inledningsvis erinras om dess relativt begränsade syfte och restriktiva avgränsningar, vilket bidragit till en viss osäkerhet ifråga om många av resultatens generalitet. Trots förekomsten av denna osäkerhet, vilken ju inte är någon ovanlig företeelse i studier med empiriska inslag, vill vi ändå hävda att vår studie och de slutsatser och erfarenheter som därigenom vunnits, utgör ett be-

---

1) Observeras bör att den speciella strukturen med övre och undre gränser på variablerna i subproblemen endast här har hävdats vara karakteristiskt för planeringsobjektet företag. För andra planeringsobjekt som t ex en hel bransch eller en hel ekonomi torde andra förhållanden göra sig gällande vilket kan medföra andra typer av problemstrukturer. Se t ex Kornai (1969), Kutcher (1973) samt Ross (1969).

tydelsefullt steg i rätt riktning mot en helhetsbedömning av denna typ av planeringsmetoder. Detta omdöme grundar sig främst på jämförelser med tidigare forskning inom samma område och de erfarenheter och slutsatser som därav framkommit. Det nya och värdefulla med vår studie kan vid en sådan jämförelse sammanfattas i två huvudpunkter, helt i anslutning till de två inledningsvis uppställda två riktlinjerna för studien. För det första har vi lyckats omvandla DW-algoritmen till en planeringsmetod, DW-planering. För det andra har vi åstadkommit en såväl teoretisk som empirisk belysning av DW-planeringens förutsättningar och egenskaper som planeringsmetod.

Det är anmärkningsvärt att notera att ingen av dessa punkter behandlats tillfredsställande i tidigare forskningsinsatser och vi anser därför att föreliggande studie bör betecknas som ett betydelsefullt steg i rätt riktning.

22.3 Vidare forskning

Denna studie har avgränsats dels till ett visst planeringsförfarande, nämligen DW-planering, och dels till behandling av vissa frågeställningar rörande denna planeringsprocess. Vidare har studien inneburit användning av ett specifikt tillvägagångssätt. Den fortsatta forskningen på området kan självfallet ske med utgångspunkt från förändringar i ett eller flera av dessa avseenden.

Gällande valet av den studerade planeringsprocessen kan för det första en utvidgning till andra, även icke-linjära, dekompositionsalgoritmer vara av intresse. Efter en fullständig uttolkning av dessa, i likhet med den av oss genomförda gällande DW-algoritmen, kan en jämförande analys ske av de så erhållna planeringsprocesserna. Vidare kan utvidgningar dels till s k flernivåmodeller d v s där företaget antas bestå av fler än två organisatoriska nivåer och dels till planering av hela branscher eller ekonomier vara av intresse.

Bland ytterligare frågeställningar att behandla kan för det första nämnas analys av sådana egenskaper av DW-planeringen som icke behandlats i denna framställning. Vår analys har främst gällt

rent "tekniska" aspekter som exempelvis konvergensegenskaperna, nödvändig informationsöverföring etc. Som exempel på andra konsekvenser av intresse kan nämnas sådana beteendemässiga effekter på de i planeringsprocessen deltagande befattningshavarna som vi icke behandlat, t ex konsekvenser av andra typer av fusk etc.

En annan utvidgning vore att behandla frågeställningar avseende dynamiska aspekter. Här kan nämnas kopplingen mellan flera på varandra följande planeringsperioder, inlärningsförlopp etc. Ytterligare en frågeställning vore att studera hur problemformuleringens struktur varierar dels mellan olika typer av företag och dels mellan olika typer av planeringsproblem. Som framgått kan problemformuleringens struktur bl a starkt påverka tolkningen av DW-planeringen samt algoritmens konvergensegenskaper.

Vad slutligen gäller valet av metod kan nämnas möjligheten att i stället för att utgå från en viss dekompositionsalgoritm utgå från ett verkligt planeringsproblem. Med utgångspunkt från detta kan sedan en dekompositionsmetod utvecklas eller en redan befintlig sådan väljas som i det studerade fallet synes ha de bästa förutsättningarna för att kunna användas som ett väl fungerande planeringsinstrument. Vidare bör betonas möjligheten att utföra olika former av test av DW-planeringen genom att beslutsfattare utför de av DW-planeringen föreskrivna beräkningarna och informationsöverföringarna. Detta kan sträcka sig från en ren experimentsituation med försökspersoner till en verklig användning av DW-planeringen i ett visst företag.

Avslutningsvis vill vi, i likhet med i inledningen till denna framställning, betona vikten av att den fortsatta forskningen på området görs tillämpningsinriktad d v s hela tiden sker med utgångspunkt från kunskaper om de planeringsproblem på vilka planeringsmetoden avses appliceras. Det är även vår uppfattning, vilket bl a bör ses mot bakgrund av de resultat som nåtts genom denna studie, att nästa steg bör utgöras av sådana test av DW-planeringen där beslutsfattarna i de studerade företagen deltar i den av DW-planeringen specificerade planeringsprocessen.

22.4 Sammanfattning

I avsnitt 22.2 där slutsatserna av studien summerades konstaterades bl a att studien kunde sägas ha resulterat i såväl en omvandling av DW-algoritmen till en planeringsmetod, DW-planeringen, som en teoretisk och empirisk belysning av denna planeringsmetods förutsättningar och egenskaper.

I avsnitt 22.3 gavs ett antal uppslag till fortsatt forskning på området. Dessa avsåg såväl valet av planeringsmetod och valet av frågeställningar som valet av tillvägagångssätt. Avslutningsvis betonades vikten av att forskningen även i fortsättningen görs tillämpningsinriktad.

SUMMARY

In the literature on Management science and Operations research the Dantzig & Wolfe decomposition algorithm (hereafter the DW-algorithm) has frequently been proposed as a planning tool in decentralized business firms. Unfortunately, very few findings concerning the design of this tool and its prerequisites and properties in connection with such an application have been reported. That is the starting-point of this study in which we try to clarify various theoretical and empirical aspects of the DW-algorithm regarded as a planning tool (hereafter DW-planning) in decentralized business firms.

The study consists of four main parts of which Part I is an introduction to the subject and focus of the study. Part II is a theoretical analysis undertaken in order to create the theoretical frame of reference for the application of the DW-algorithm as a planning tool. Part III consists of three case-studies, with the purpose of highlighting the features of DW-planning when confronted with real planning problems. Part IV of the study contains some simulation experiments on real planning data from a Swedish business firm in the pulp & paper branch. These experiments are intended to quantify some essential properties of DW-planning.

Having presented this overview of the study we will now concentrate on each of the separate parts following the introductory part.

In Part II the theoretical analysis is undertaken in three stages. The first concerns the interpretation possibilities of the block-angular programming problem, typical of the DW-algorithm, and that phase of the planning process which is explicitly defined by the DW-algorithm. Among the findings at this stage of the analysis are the rich interpretation possibilities of the block-angular problem but above all the insight that the DW-algorithm permits 12 different exactly specified variants of the DW-planning process, of which three can be regarded as main variants. The differences between these variants lies in different allocations of the required computational work and differences in the transmission of information between the local

planners and the central unit. Only the two extremes of these 12 variants seem to have been noted before in the literature.

The second stage of the theoretical analysis concerns the formulation of the planning problem. Here we deal with some general aspects such as choice of the level of description and definition of the problem, as well as the specific formulation requirements of the DW-algorithm. Regarding the latter point, it is concluded that although a number of techniques exist to reformulate or approximate a troublesome kind of mathematical function to a permitted form they hardly lend themselves to a meaningful economic interpretation.

The third stage of the theoretical analysis concerns the DW-planning process. Here we study properties and functions of the DW-algorithm which could influence the outcome of DW-planning in decisive ways. Here we also design and study those phases of the planning process which the DW-algorithm does not explicitly define. One fundamental point of inquiry is the convergence properties of the iterative DW-planning process, since in practice, it is presumably necessary to keep the number of iterations down. On examining the limited computational experiences reported in the literature we find that both the structure and size of the problem formulation seem to be important for the convergence properties, especially the number of common rows. We also note that the reported computational experiences differ considerably in character, but always show a typical asymptotic convergence. After that we point out that the starting phase of the DW-planning process is not uniqely defined by the DW-algorithm. Therefore, several different starting strategies are discussed, but due to the typical situation with divided information, starting problems could arise.

Thereafter, reasons for and practical possibilities of truncating the iterative DW-planning process are examined. A truncation is usually justified by a number of factors not incorporated in the objective funtion of the model and we propose several simple decision rules to determine when to truncate.

Another question dealt with is the last phase of the DW-planning process. This is the decision phase, not explicitly defined by

the DW-algorithm. When the algorithm stops, a final solution is generated by the masterprogram but there is still the question of how the local planners are to be guided to the corresponding final planning decision to be implemented. Three different ways of guiding the local planners to the final decision are examined; by the dual prices of the final master solution, by a system of quotas to be incorporated in the local subproblems and simply by giving orders. Due to the fact that price guidance guarantees neither feasibility nor an acceptable objective value, we regard it as being inferior to the two other ways which both meet those requirements.

Finally, in this part of the study we examine the possibilities, within the framework of DW-planning, of designing a reward system to motivate the local planners to follow the rules of DW-planning. Initially we note the restricted possibilities of detecting deviations by local planners from the stated rules. We further point out that the local planners are capable of intentionally restricting their feasible solution sets in an attempt to lower the dual prices and increase their local objective value at the cost of the total efficiency. This kind of behavior of the local planners is named cheating and is essential to the design of a reward system. This danger of suboptimization justifies a reward system not solely based on the local results but also on the common, total objective value.

In Part III the three case studies are presented in a similar way to facilitate comparisons. Following a general presentation of each business firm there is a description of the planning problem in technical and economic terms. This description is the necessary base for the analysis of possible formulations of the programming problem, as well as different designs of the DW-planning process.

The first case-study deals with a planning problem from a firm in the pulp & paper branch. The specific problem concerns the production and selling of board. The board is produced in a single plant in Sweden and sold mostly to European customers, divided into four sales regions. The problem arises because of the excess demand for board in recent years.

The second case-study concerns a large corporation in the chemical branch. The specific planning problem here concerns the production and selling of industrial resins, mostly producer goods for the wood- and building-materials industries. The special planning problem is constituted by shortages of raw materials which are to be allocated to the two plants in different parts of Sweden. The customers are primarily in the Scandinavian countries.

The final case-study is about a company in the petrochemical industry processing two kinds of polyethylene in two plants, both using the same scarce raw material. The specific problem concerns planning of the production and selling of the two products, mostly on the Scandinavian market.

The main results of the case-studies are the studies themselves, featuring different aspects of the theoretical framework confronted with various prerequisites and complications of real planning problems. The importance of this point manifests itself abundantly clearly in the cases in which different choices of problem formulation strongly affect the possible design of the planning process. However, there also seem to be some common experiences gained from the cases.

First is the insight that having departments which are parts of the same chain of production/distribution as separate subproblems in the programming problem is likely to slow down the convergence. This is because of the many common rows, necessary to take care of the transfer of the product qualities from one subproblem to another.

Second is the general difficulty of creating suitable definitions of the variables, discriminating among all those phenomena to be incorporated in the programming problem. Those phenomena are different in the case of the objective function, production and selling rows. This fact leads, among other things, to fewer definitional grounds for the variables at an earlier stage of a production chain than at a later one.

In Part IV the simulation experiments are carried out in order to quantify some properties of the three phases of the DW-

planning process as well as examining consequences of cheating on the part of the local planners. Furthermore, we also investigate the design of a reward system with a mixed base of local and total objective values.

All simulation runs were undertaken on a LP-model which in itself is a part of a larger model constructed and used by the above mentioned Swedish firm in the pulp & paper branch. This larger LP-model contains both the pulp and board sectors. From this model we have extracted the part concerning the board plant and converted it to a block-angular structure by rearranging the columns according to the four sales regions in order to get four subproblems. The technological capacities of the board plant are taken as common rows and the rows of the four submatrices represent upper and lower bounds on the sale to each customer. This gives a LP-model with 6 common rows and a total of 652 variables. They are distributed amongst the four subproblems in the following way: 137, 22, 272 and 221 respectively. The density of the matrix formed by the common rows is as high as 66 % while the submatrices, only consisting of upper and lower bounds, have markedly lower densities: 0,73 %, 4,55 %, 0,37 % and 0,45 % respectively.

The computer program was written in FORTRAN and the runs were undertaken on an IBM 360/75.

A first result of the simulation of the DW-planning process is the successfull initiation of the iterative process. Both the two starting strategies adopted were able to start the iterative process at the first attempt.

The second point of interest is the convergence properties of the DW-algorithm applied to this kind of planning data. The maximal value of the objective function is reached after 11 iterations but already after 2 iterations the algorithm has reached 97 % of that value. This is remarkable favourable compared to most other reported computational experiences with the DW-algorithm applied to models of equivalent dimensions. A series of sensitivity tests further indicated those favourable convergence properties to be relatively insensitive to realistic changes in the input data.

Another interesting point is the demonstration of the typical properties of the three different ways of guiding the local planners in the final phase of the DW-planning process, the decision phase. The result of these three ways are produced for truncated solutions after 2-5 iterations. This shows that price-guidance in all the four situations leads to a choice of infeasible final plans while the quota system in all cases gives feasible plans with markedly better objective values than those produced by direct orders.

The simulation experiments on the cheating of the local planners were designed in accordance with the above presumption that they try to lower the dual prices by restricting their feasible solution sets. We therefore assumed that the sales regions cheat by lowering the upper sales bounds. In the experiment this is simulated by a cheating parameter which is given three different values representing different degrees of cheating. Considering the four subproblem this gives $3^4=81$ different combinations which were all tested in separate simulation runs.

A result of the cheating experiments is that an increased degree of cheating tended to improve the convergence properties. Another result is that the total objective value was lowered by increasing degrees of cheating and that the total objective value was most strongly affected by cheating from economically important sales regions.

We further note an overall tendency for local results to be improved due to cheating. Isolated cheating from economically less important regions was generally not successful in that respect. This was the case only for the economically important regions.

As to the result of examining the design of a reward system constructed with regard to the results of the cheating experiments, we conclude that a large part of the total objective value must be incorporated in the mixed reward base, in order to eliminate completely the motive of cheating from the local planners.

This completes the summary of our study and we will merely add some final words in order to relate this work to earlier research

in the area. As has already been pointed out in our introductory remarks, there is very little known concerning the application of the DW-algorithm as a planning tool in decentralized business firms although it has frequently been proposed for such an application. The main contribution of this study is its systematic theoretical as well as empirical investigation of various presumably important aspects of DW-planning. This, however, does not mean that we claim to have examined all aspects of the application problem, but rather that we hope to have built a stable platform for further research in this area.

BILAGEFÖRTECKNING

Nr[1]	Innehåll	Sid
1	Fig 60	298
2	Fig 61	299
3	Förteckning över kontaktade personer i samband med fallstudierna, fig 62-64	300
4	Fig 65-67, Tabell 17-32	304

1) Bilagorna hänför sig till studiens fyra delar.

FIGURFÖRTECKNING

		Sid
1	Den ursprungliga problemformuleringens struktur.	19
2	Flödesschema över DW-algoritmen	24
3	Flödesschema över DW-algoritmen efter modifieringar	27
4	En LE:s del i problemformuleringen	28
5	Studiens tratteknik	35
6	Exempel på typ 1-restriktion	42
7	Exempel på typ 2-restriktion	42
8	Exempel på typ 3-restriktion	43
9	Exempel på typ 4-restriktion	43
10	Tänkbara kombinationer av restriktionstyper	45
11	DW-planeringens tre faser	50
12	DW-planering: tolkning A	53
13	DW-planering: tolkning B	53
14	DW-planering: tolkning C	54
15	Exempel på icke kontinuerlig funktion	64
16	Exempel på styckvis linjära funktioner	69
17	Exempel på approximation av icke-linjär funktion till styckvis linjär	71
18	Tre exempel på blockangulära strukturer	73
19	Exempel på grafer	77
20	Ett karakteristiskt konvergensförlopp för DW-algoritmen	86
21	Beslutssituationen vid trunkering	96
22	En illustration av $\bar{Z}^M$ och Z^M.	98
23	Beslutsformernas tillgodoseende av konsistenskraven	113
24	Planeringsproblemet i Iggesund: översikt	147
25	Kartongtillverkningen	148
26	Försäljningsregionernas geografiska avgränsning och företrädare	150

		Sid
27	Problemformulering 1: Iggesund	151
28	Problemformulering 2: Iggesund	152
29	Problemformulering 3: Iggesund	152
30	Restriktionerna i problemformulering 1: Iggesund	155
31	Restriktionerna i problemformulering 3: Iggesund	159
32	Iterationsfasen i Iggesund, tolkning B	164
33	Iterationsfasen i Iggesund, tolkning C	167
34	Planeringsproblemet i KemaNord: översikt	177
35	Tillverkningen av hartsprodukter	178
36	Problemformulering 1: KemaNord	181
37	Problemformulering 2: KemaNord	181
38	Problemformulering 3: KemaNord	181
39	Restriktionerna i problemformulering 1: KemaNord	183
40	Restriktionerna i problemformulering 2: KemaNord	186
41	Iterationsfasen i KemaNord, tolkning C	189
42	Planeringsproblemet i Unifos: översikt	198
43	Tillverkningen av polyeten	200
44	Problemformulering 1: Unifos	202
45	Problemformulering 2: Unifos	203
46	Problemformulering 3: Unifos	203
47	Restriktionerna i problemformulering 1: Unifos	205
48	Restriktionerna i problemformulering 2: Unifos	208
49	Restriktionerna i problemformulering 3: Unifos	210
50	Iterationsfasen i Unifos, tolkning C	213
51	Kombinationer av olika enheter i de studerade fallen	218
52	Problemformuleringen	230
53	Konvergensförloppet	245
54	Dualprisernas variationer och den samlade planeffekten på restriktionen RKM	246
55	Dualprisernas variationer och den samlade planeffekten på restriktionen RRM	246

		Sid
56	Dualprisernas variationer och den samlade plan-effekten på restriktionen RAM	247
57	Dualprisernas variationer och den samlade plan-effekten på restriktionen REXTR	247
58	Konvergensförloppet och utfallet av estimatet $\bar{Z}^M$	250
59	Konvergensförloppet vid modifierad problem-formulering	256
60	Frekventa beteckningar	298
61	DW-planeringens 12 tolkningsvarianter	299
62	Översikt över planeringen av produktion och försäljning av kartong vid Iggesund	301
63	Översikt över planeringen av produktion och försäljning av industrihartser vid KemaNord	302
64	Översikt över planeringen av produktion och försäljning av polyeten vid Unifos	303
65	Exempel på datorutskrift av en iteration	304
66	Konvergensförloppet vid startförfarande 2	306
67	Skillnaden mellan vid varje iteration estimerat maximalt tillskott till Z^M och faktiskt erhållet	310

TABELLFÖRTECKNING

		Sid
1	Antalet variabler och tätheten i de lokala restriktionsblocken	235
2	Optimallösningens dualpriser samt startpriserna vid startförfarande 2	242
3	Ledig kapacitet vid den genom startförfarande 2 erhållna startlösningen	242
4	Z^M:s tillväxt	245
5	Tillskottet till Z^M: Estimerat och faktiskt	250
6	Beslutsform: beordrad plan	252
7	Beslutsform: priser	253
8	Beslutsform: planvillkor	254
9	Z^M:s tillväxt vid modifierad problemformulering	256
10	Effekten av fusk på planeringsprocessens konvergenshastighet	261
11	Konvergensförloppet vid olika grad av fusk jämfört med utan fusk	262
12	Effekten på Z^M av olika grad av fusk	263
13	Effekten på Z^M med avseende på vilken region som fuskar och graden av fusk	264
14	Effekten på Z_j^r av olika grader av fusk	266
15	Effekten på respektive Z_j^r av fusk	267
16	α-värden vid olika grad av fusk	270
17	Dualpriser och ledig kapacitet vid optimum	305
18	Konvergensförloppet vid startförfarande 2	306
19	Dualpriser och samlad planeffekt på restriktionen RKM	307
20	Dualpriser och samlad planeffekt på restriktionen RRM	307
21	Dualpriser och samlad planeffekt på restriktionen RAM	307
22	Dualpriser och samlad planeffekt på restriktionen REXTR	307
23	Dualpriser och respektive regioners planeffekt på de gemensamma restriktionerna	308

		Sid
24	Resultat av test av robusthet	309
25	Skillnaden mellan vid varje iteration estimerat maximalt tillskott till Z^M och faktiskt erhållet	310
26	Effekten på Z^M av olika grad av fusk	311
27	Lokala måluppfyllelsen z^r_{jt} vid ej fusk	312
28	Effekten på z^r_j vid optimum av olika grad av fusk	313
29	Effekter på respektive z^r_j av fusk	314
30	Tendenser avseende tabell 29 gällande effekter på respektive z^r_j av fusk	315
31	Effekter på α av fusk	316
32	Tendenser avseende tabell 31 gällande effekter på α av fusk	317

BILAGA 1

I problemformuleringen ingående beteckningar

c_j	(1 x n_j radvektor)	LE_j:s målvektor
x_j	(n_j x 1 kolumnvektor)	LE_j:s beslutsvariabler
A_j	(m x n_j matris)	LE_j:s del av de gemensamma restriktionernas vänsterled
a	(m x 1 kolumnvektor)	De gemensamma restriktionernas högerled
B_j	(m_j x n_j matris)	Vänsterledet i LE_j:s lokala restriktioner
b_j	(m_j x 1 kolumnvektor)	Högerledet i LE_j:s lokala restriktioner

I anslutning till DW-algoritmen införda beteckningar

p^t	(1 x m radvektor)	Dualpriserna på de gemensamma restriktionerna
$a_{jt}=A_j x_{jt}$	(m x 1 kolumnvektor)	Effekten i de gemensamma restriktionerna av LE_j:s planförslag (planeffekt)
$c_{jt}=c_j x_{jt}$	(1 x 1)	Måluppfyllelsen för LE_j:s planförslag
s_{jk}^t	(1 x 1)	Den vikt som i masterproblemet tilldelas LE_j:s planförslag
$\hat{x}_j^t = \sum_{k=1}^{t} s_{jk}^t x_{jk}$	(n_j x 1 kolumnvektor)	Den i masterproblemet framtagna lösningen avseende LE_j

I anslutning till planeringsprocessen införda beteckningar

$c_j^{rt}=c_j-p^t A_j$	(1 x n_j radvektor)	LE_j:s reviderade målvektor
$c_j^{at}=p^t A_j$	(1 x n_j radvektor)	LE_j:s målrevideringsvektor
$\hat{a}_j^t=\sum_{k=1}^{t} s_{jk}^t a_{jk}$	(m x 1 kolumnvektor)	LE_j:s planvillkor

Fig. 60 Frekventa beteckningar

BILAGA 2

	Tolkning 1 (A)	2	3	4	5	6
CE Information	c_j A_j a v	c_j A_j a v	c_j A_j a v	c_j A_j a v	c_j A_j a v	c_j A_j a v
Beräkningar	c_j^{rt} a_{jt} c_{jt}	c_j^{rt} c_{jt}	c_j^{rt} a_{jt}	c_j^{rt}	c_j^{at} c_{jt} a_{jt}	c_j^{at} c_{jt}
Informations-↓ överföring ↑	c_j^{rt} x_{jt}	c_j^{rt} a_{jt} x_{jt}	c_j^{rt} c_{jt} x_{jt}	c_j^{rt} c_{jt} a_{jt}	c_j^{at} x_{jt}	c_j^{at} a_{jt} x_{jt}
LE Information	B_j b_j v	A_j B_j b_j v	c_j B_j b_j v	c_j A_j B_j b_j v	c_j B_j b_j v	c_j A_j B_j b_j v
Beräkningar	---	a_{jt}	c_{jt}	c_{jt} a_{jt}	c_j^{rt}	c_j^{rt} a_{jt}

	Tolkning 7 (B)	8	9	10	11	12 (C)
CE Information	A_j a v	A_j a v	c_j A_j a v	c_j a v	A_j a v	a
Beräkningar	c_j^{at} a_{jt}	c_j^{at}	c_{jt} a_{jt}	c_{jt}	a_{jt}	---
Informations-↓ överföring ↑	c_j^{at} c_{jt} x_{jt}	c_j^{at} c_{jt} a_{jt}	p^t x_{jt}	p^t a_{jt} x_{jt}	p^t c_{jt} x_{jt}	p^t c_{jt} a_{jt}
LE Information	c_j B_j b_j v	c_j A_j B_j b_j v	c_j A_j B_j b_j v	c_j A_j B_j b_j v	c_j A_j B_j b_j v	c_j A_j B_j b_j v
Beräkningar	c_j^{rt} c_{jt}	c_j^{rt} c_{jt} a_{jt}	c_j^{rt}	c_j^{rt} a_{jt}	c_j^{rt} c_{jt}	c_j^{rt} a_{jt} c_{jt}

Förklaringar: "v" står som förkortning för variabeluppdelningen.
↓ betecknar informationsöverföring från CE till resp. LE.
↑ -"- - " - -"- resp. LE till CE.
Varje j gäller för j=1,...,n

Fig. 61 DW-planeringens 12 tolkningsvarianter

BILAGA 3

Förteckning över kontaktade personer i samband med fallstudierna.

AB Iggesunds Bruk:

Utredningsman	Lars Franck
Utredningsman	Alvar Hägg
Adm. ass.	Anders Luthbom
Ekonomidirektör	Magnus Tano

KemaNord AB:

Ekonomidirektör	Didrik Reuterskiöld
Controller	Lennart Runemo
Tekn.ass.	Johan Sandström
Produktchef	Birger Sundin

Unifos Kemi AB:

Ekonomidirektör	Leif Crafoord
Dir.ass.	Svante Haglund

PLAN	TIDS HORISONT	AVSER	ANSVARIG	UNDERLAG
Marknadsplan	10 år (rullande)	Långsiktig policy för försäljningen med hänsyn till spridning mellan marknader och mellan slutanvändningsområden	Sektorledningen Försäljningsledningen	Brüsselkontoret - Marknadsundersökningar Regionscheferna - Marknadsbedömning Lokala repr. - " Branschorg. - " Produktionsledn.- Tillverkningskapacitet Allmän info
Försäljningsbudget	1 år	Fördelning av tillgänglig produktion med hänsyn till önskad lönsamhet, slutanvändningsområde och riskspridning Fördelning mellan kunder inom resp. marknad	Försäljningsledningen Regionscheferna Regionschef Lokala repr.	Marknadsplanen Lokala repr. - Kundernas önskemål Produktionsledn.- Tillverkningskapacitet
Tillverkningscykler	ca 3 mån	Spridning av budgeterad produktion på kartongmaskinerna över budgetåret Planering av den tidsmässiga körordningen för olika kvalitets- och ytviktsgrupper på kartongmaskinerna	Produktionsplaneringen Produktionsplaneringen	Försäljningsbudget Försäljningsbudget
Tillverkningsprogram	1-10 dgr	Planering av en kvalitetsgrupps och ett ytviktsområdes omfattning på kartongmaskinen	Produktionsplaneringen	Försäljningsbudget Inbokade order
Trimning	3-5 dgr	Trimning av enskilda order i ett tillverkningsprogram fördelade på kvalitet och ytvikt Fördelning mellan olika efterbearbetningsled	Produktionsplaneringen Produktionsplaneringen	Inbokade order i tillverkningsprogrammet Tillverkningsprogram
Leveransplan	ca 1 mån	Leverans av tillverkat material	Leveransplaneringen	Tillverkningsprogram

Fig. 62 Översikt över planeringen av produktion och försäljning av kartong vid Iggesund

PLAN	TIDS-HORISONT	AVSER	ANSVARIG	UNDERLAG
Långsikts-plan	5 år (rullande)	Försäljning Produktion Materialadministration Ekonomi F o U Personal Total sammanställning	Förs.chef Platschef MA-Direktör Ekonomidirektör Forskningschef Personalchef VD	Produktanalys/Säljavdelning. Existerande sortiment:oms.,TB,etc. Produktfördelad ekonomisk och volymmässig redovisning. Marknadsutveckling: gamla och nya produkter på gamla och nya marknader. Personalutveckling
Årsbudget	1 år	Som ovan Omkostnadsbudget Detaljerad försäljningsbudget	Som ovan Resp.kostnads-ställeansvarig Försäljnings-chef och produktchef	Långsiktsplan Planerat produktsortiment (produktplan)
Produktions-plan	4 v.	Produktion	MA-Direktör	Försäljningsprognos (rullande, 24 v.) Produktplanen nedbruten till råvaror
Veckoplan	1 v.	Detaljerad produktionsplan	MA-Direktör	Orderstock Försäljningsprognos

Fig. 63 Översikt över planeringen av produktion och försäljning av industrihartser vid KemaNord

PLAN	TIDS-HORISONT	AVSER	ANSVARIG	UNDERLAG
Långtids-plan	5 år (rullande)	Marknads/Försäljn.prognos	Ledningsgruppen	Kundernas utvecklingsplaner/ Förväntad allmän konjunkturutveckling
		Produktionskapacitet/Invest.	-"-	Teknisk möjlig produktionskapacitet/investeringskrav
		Råvara	-"-	Bedömning av tillgänglig råvara
		Kostnadsbilden	-"-	Företagets samlade kostnader
Årsbudget	1 år	Kostnadsbudget Resultat- och balansräkning Cash-flow Personalbudget Investeringsbudget	Förs.avdelningen Produktions -"- Ekonomi -"- Ledningsgruppen	Långtidsplan Rullande 4-tertial-prognos med försäljning/kund,kvalitet, emballage etc.
Förs.prognos/avropsplaner	1 mån (rullande)	Försäljningsprognos kompletterad med kundernas planerade beställningar	Förs.avdelningen	Försäljningsprognos Varje kunds uppskattade beställningar/vecka
Detaljerad produktionsplan	6 v. (rullande)	Beläggning/reaktor/bearbetningslinje och kvalitet etc	Respektive funktionschef	Försäljningsprognos/avropsplaner Produktionsplaneringsmöte veckovis: Samarbete försäljning, produktion och distribution

Fig. 64 Översikt över planeringen av produktion och försäljning av polyeten vid Unifos

BILAGA 4

LP	K	ITER	INVC	NUMVR	NUMPV	JT
4	0	7	0	5	68	0

OBJ BB

-0.680303718D+02 0.0

0.0	0.0	0.0	4.1314	379.2694	2285.5416	0.0	0.5005	0.0547	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9118	0.0	1.0000	0.4995
0.0335	1.0000								

JH 19 8 9 22 20 21 17 4 5 6

4.9372	-0.1111	-3.5595	9.0311	0.0439	0.1246	0.2662	0.0	0.0	0.0

********** **********

SUB NR: 1, KOL.-NR: 23
KOSTNAD: -17.90839

1.000	0.0	0.0	0.0	30.897	3.165	41.235	35.191	-67.057	77.188

SUB NR: 2, KOL.-NR: 24
KOSTNAD: -1.15973

0.0	1.000	0.0	0.0	8.061	0.0	2.939	1.599	-69.765	-480.456

SUB NR: 3, KOL.-NR: 25
KOSTNAD: -20.34633

0.0	0.0	1.000	0.0	61.027	51.202	50.901	20.185	-91.443	-430.686

SUB NR: 4, KOL.-NR: 26
KOSTNAD: -28.59537

0.0	0.0	0.0	1.000	61.936	22.354	40.470	35.456	-133.052	-1176.240

OPT-S: -5.182 -0.023 2.260 -9.923

DELTA: -0.24D+00 -0.13D+00 -0.13D+01 -0.89D+00

ZKM: -70.60132

ZM: 68030361.287 OCH ZJ: 17074813.510 1060325.901 21840795.873 28054426.003

ZR: 10297771.451 OCH ZRJ: 4937198.992 -111097.760 -3559456.083 0031126.301

Förklaring

Tekniska uppgifter om lösningen av masterprobl.

vikterna s_j^t j=1,...,4

$\bar{p}^t$ resp. p^t

c_{1t}
a_{1t}

c_{2t}
a_{2t}

c_{3t}
a_{3t}

c_{4t}
a_{4t}

δ_j^t j=1,...,4

Förklaring två sista raderna

z_t^M	z_{1t}^M	z_{2t}^M	z_{3t}^M	z_{4t}^M
z_t^r	z_{1t}^r	z_{2t}^r	z_{3t}^r	z_{4t}^r

Förändring av problemformuleringen	Dualpris vid optimum resp. ledig kapacitet vid motsvarande startlösning för RKM	RRM	RAM	REXTR
ingen	206 -0,10%	235 +0,32%	2312 +0,53%	890 -0,23%
-10% i RKM	4469 -0,15%	0 +4,34%	0 +2,28%	521 -1,05%
- 5% i RRM	206 +0,11%	582 -0,14%	2312 +0,53%	890 -0,23%
-10% i RAM	0 +3,47%	255 +0,03%	3473 -0,27%	530 -1,51%
-10% i REXTR	184 -0,24%	237 -0,40%	2172 +0,03%	1333 -4,92%

Tabell 17. Dualpriser och ledig kapacitet vid optimum.

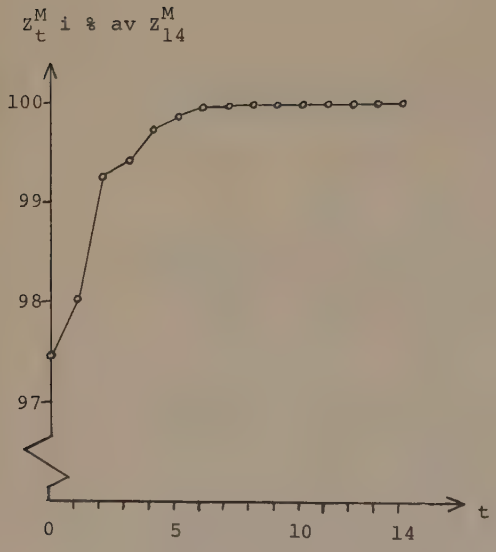


Fig. 66 Konvergensförloppet vid startförfarande 2.

t	z_t^M i % av z_{14}^M
0	97,44
1	98,04
2	99,23
3	99,41
4	99,76
5	99,82
6	99,90
7	99,90
8	99,98
9	99,99
10	100,00
11	100,00
12	100,00
13	100,00
14	100,00

Tabell 18. Konvergensförloppet vid startförfarande 2.

t	p^t	Samlad plan-effekt[1]
0	16.666	13.131
1	0	18.131
2	0	17.419
3	0	16.619
4	439	16.192
5	162	17.186
6	212	16.649
7	199	16.763
8	206	16.849
9	206	16.755
10	206	16.793
11	206	16.786

Tabell 19. Dualpriser och samlad planeffekt på restriktionen RKM (16.768)

t	p^t	Samlad plan-effekt
0	0	7.658
1	0	9.688
2	709	7.666
3	0	9.499
4	1246	7.672
5	291	8.217
6	217	8.456
7	503	8.053
8	270	8.299
9	240	8.349
10	233	8.452
11	236	8.357

Tabell 20. Dualpriser och samlad planeffekt på restriktionen RRM (8.384)

t	p^t	Samlad plan-effekt
0	0	12.446
1	0	16.727
2	0	15.968
3	3080	14.063
4	2662	14.454
5	1745	15.617
6	2327	14.803
7	2334	14.923
8	2292	15.044
9	2315	14.863
10	2312	14.921
11	2312	14.921

Tabell 21. Dualpriser och samlad planeffekt på restriktionen RAM (15.000)

t	p^t	Samlad plan-effekt
0	0	7.281
1	0	10.877
2	5296	7.281
3	973	8.036
4	0	9.243
5	940	8.465
6	977	8.101
7	789	8.498
8	891	8.403
9	911	8.237
10	889	8.403
11	889	8.403

Tabell 22. Dualpriser och samlad planeffekt på restriktionen REXTR (8.384)

---

1) Med "samlad planeffekt" på en gemensam restriktion avses motsvarande element i vektorn $\sum_{j=1}^{n} a_{jt}$.

t	planeffekt på RKM[1]					planeffekt på RRM					planeffekt på RAM					planeffekt på REXTR				
	p^t	R1	R2	R3	R4	p^t	R1	R2	R3	R4	p^t	R1	R2	R3	R4	p^t	R1	R2	R3	R4
0	16.666	2.249	736	5.358	4.786	0	316	0	5.120	2.221	0	3.302	251	4.728	4.163	0	2.712	156	1.849	2.562
1	0	3.283	1.319	6.949	6.578	0	337	0	6.356	2.995	0	4.485	344	6.350	5.546	0	4.108	267	2.662	3.839
2	0	3.087	1.301	6.712	6.317	709	316	0	5.120	2.229	0	4.184	310	6.150	5.322	5.296	2.712	156	1.849	2.562
3	0	2.970	1.290	6.194	6.162	0	337	0	6.274	2.888	3.080	3.912	293	5.062	4.778	973	2.875	159	1.915	3.085
4	439	3.089	806	6.102	6.193	1.246	316	0	5.120	2.235	2.662	4.123	293	5.090	4.947	0	3.519	159	2.018	3.545
5	162	3.129	1.102	6.523	6.431	291	337	0	5.276	2.603	1.745	4.193	294	5.797	5.349	940	2.929	159	1.915	3.459
6	212	3.059	986	6.301	6.301	217	337	0	5.515	2.603	2.327	4.067	294	5.332	5.108	977	2.882	159	1.915	3.143
7	199	3.074	1.068	6.262	6.353	503	337	0	5.161	2.554	2.334	4.082	294	5.332	5.214	789	2.963	159	1.915	3.459
8	206	3.123	1.068	6.305	6.352	270	337	0	5.358	2.603	2.292	4.183	294	5.366	5.203	891	2.921	159	1.915	3.406
9	206	3.066	1.068	6.301	6.319	240	337	0	5.407	2.603	2.315	4.080	294	5.348	5.139	911	2.921	159	1.915	3.240
10	206	3.066	1.068	6.311	6.348	233	337	0	5.511	2.603	2.312	4.080	294	5.348	5.196	889	2.921	159	1.915	3.406
11	206	3.066	1.068	6.302	6.348	236	337	0	5.416	2.603	2.312	4.080	294	5.348	5.196	889	2.921	159	1.915	3.406

Tabell 23. Dualpriser och respektive regioners planeffekt på de gemensamma restriktionerna.

1) Med "planeffekt" på en gemensam restriktion avses motsvarande element i vektorn a_{jt}.

t	Ursprungsformuleringen Z_t^M i % av Z^M(max)	RKM (-10%) avv i % från kol 1	RRM (-5%) avv i % från kol 1	RAM (-10%) avv i % från kol 1	REXTR (-10%) avv i % från kol 1
0	77,65	+4,03	+0,16	+5,22	+1,10
1	86,81	+5,12	-0,95	+4.54	-5,59
2	96,93	-0,36	-0,53	-1,23	-1,19
3	98,00	+1,53	+0,93	-0,99	-0,50
4	99,03	+0,94	+0,67	+0,08	-0,35
5	99,74	+0,23	+0,12	-0,13	-0,34

Tabell 24. Resultat av test av robusthet.

$(\bar{Z}_t^M - Z_t^M) - (Z_{t+1}^M - Z_t^M)$; t = 1,...,11

t	Abs.	i % av $(Z_{t+1}^M - Z_t^M)$	i % av $(\bar{Z}^M - Z_t^M)$
1	12.888.110	202,74	66,97
2	5.861.080	83,41	45,48
3	2.060.500	276,25	73,42
4	1.353.050	191,26	65,67
5	395.180	79,70	44,35
6	73.880	58,01	36,71
7	35.780	93,91	48,43
8	4.090	33,06	24,85
9	3.190	354,44	77,99
10	180	105,88	51,43
11	30	150,00	60,00

Medelvärde: 54,12
Std.avv: 16,26

Tabell 25. Skillnaden mellan vid varje iteration estimerat maximalt tillskott till Z^M och faktiskt erhållet.

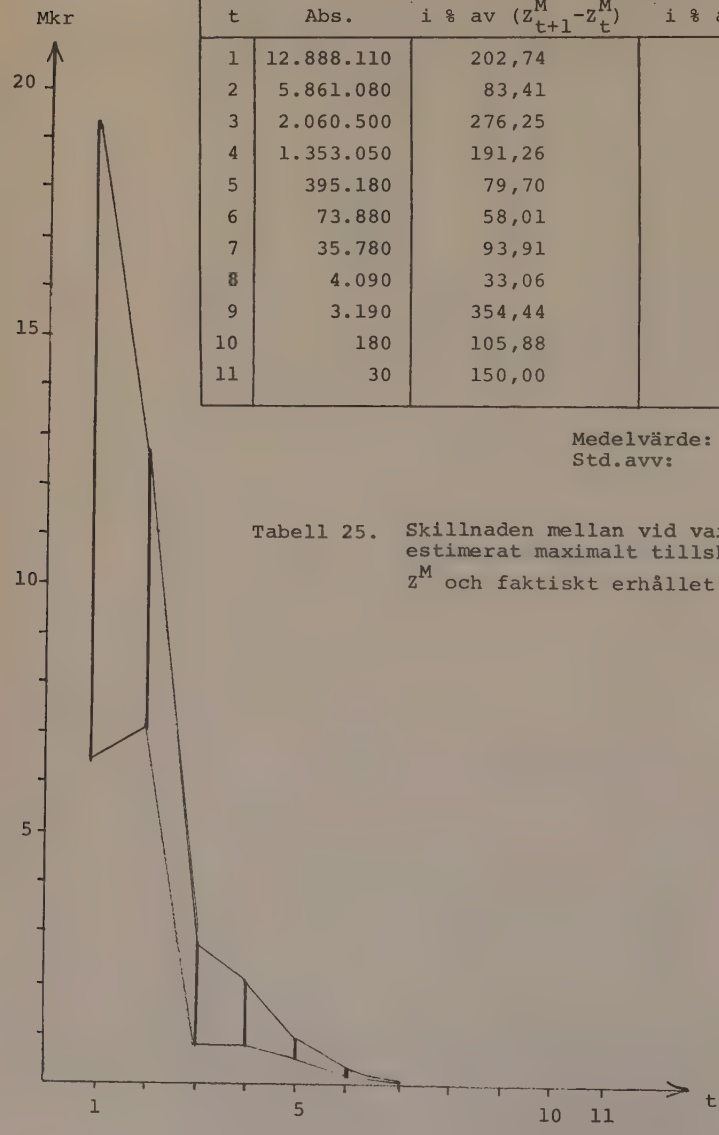


Fig. 67 Skillnaden mellan vid varje iteration estimerat maximalt tillskott till Z^M och faktiskt erhållet.

Grad av Fusk:	Procentuell avvikelse från det vid ej fusk erhållna Z^M-värdet							
	t=2	antal	t=3	antal	t=4	antal	t=5	antal
Föga	-1,89 (1,09)	18	-1,76 (1,07)	18	-2,11 (1,24)	18	-2,37 (1,45)	18
Måttligt	-4,54 (2,00)	47	-4,67 (2,22)	47	-5,42 (2,35)	47	-5,97 (2,47)	47
Betydande	-8,58 (2,00)	15	-9,26 (2,18)	15	-10,13 (2,20)	15	-10,76 (2,19)	15

Tabell 26. Effekten på Z^M av olika grad av fusk.

t	z^r_{1t}	z^r_{2t}	z^r_{3t}	z^r_{4t}
0	12.370589	882854	17.757233	22.889772
1	-2.219880	56036	4.332559	7.744821
2	2.012868	138600	1.394908	9.382798
3	4.937199	-111097	-3.559456	9.031126
4	7.095022	365994	7.087562	14.975998
5	4.504114	148596	4.125782	11.986917
6	4.965394	190382	3.079368	11.932610
7	4.902194	180238	4.350808	12.392941
8	4.763286	170416	4.362657	12.295276
9	4.841645	174780	4.453534	12.401003
10	4.839259	174690	4.440620	12.393478
11	4.839372	174690	4.442466	12.394350

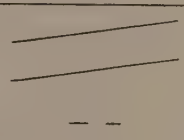
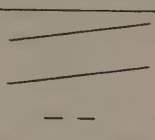
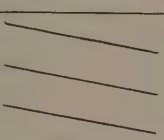
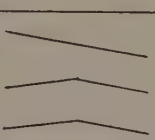
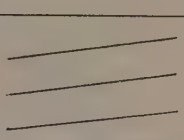
Tabell 27. Lokala måluppfyllelsen z^r_{jt} vid ej fusk.

Grad av fusk	Vinstfall förändring i %	antal	Förlustfall förändring i %	antal	Oför.fall antal	Andelen förlustfall i %
Föga	2,50 (1,38)	60		0	0	0
Måttligt	2,22 (1,50)	188		0	0	0
Betydande	1,17 (1,12)	67	-0,28 (0,07)	2	3	2,78

Tabell 28. Effekten på Z_j^r vid optimum av olika grad av fusk.

Region	β_j	Vinstfall när andra fuskar: Föga Förändring i %	Föga Antal	Måttligt Förändring i %	Måttligt Antal	Betydande Förändring i %	Betydande Antal	Förlustfall när andra fuskar: Föga Förändring i %	Föga Antal	Måttl. Förändring i %	Måttl. Antal	Betydande Förändring i %	Betydande Antal	Antal oförändrade fall
1	1	1.34 (1.84)	15	1.88 (1.88)	46	2.70 (2.09)	27	-0.13 (0.13)	8	-0.14 (0.11)	5	-0.06 (0.00)	1	2
	0.9	1.79 (1.80)	16	2.11 (1.70)	46	2.41 (1.77)	28	-0.17 (0.11)	12	-0.17 (0.12)	6		0	0
	0.7	1.42 (1.31)	22	2.04 (1.57)	50	2.31 (1.67)	28	-0.29 (0.24)	6	-0.40 (0.25)	2		0	0
2	1	0.57 (3.97)	21	0.93 (6.38)	51	1.16 (7.67)	28	-1.02 (1.53)	2	0			0	2
	0.9	0.43 (3.32)	23	0.71 (5.75)	51	0.93 (6.90)	28	-0.25 (0.08)	5	-0.24 (0.00)	1		0	0
	0.7	0.03 (2.84)	22	0.48 (5.01)	50	0.64 (5.91)	28	-0.38 (0.42)	6	-0.49 (0.59)	2		0	0
3	1	0.10 (1.61)	15	0.05 (2.52)	44	1.79 (5.90)	26	-0.01 (0.02)	6	-0.15 (0.29)	4	-0.19 (0.27)	2	7
	0,9	0.54 (3.56)	22	0.87 (5.17)	43	0.21 (4.98)	22	-6.32 (4.38)	6	-6.99 (2.55)	9	-6.93 (0.45)	6	0
	0,7	1.23 (4.98)	24	1.83 (5.69)	48	2.23 (6.15)	27	-14.63 (0.02)	4	-14.54 (0.08)	4	-14.50 (0.00)	1	0
4	1	0.16 (0.19)	14	0.54 (0.52)	43	0.93 (0.54)	22	-0.04 (0.07)	7	-0.25 (0.10)	5	-0.27 (0.01)	5	8
	0,9	0.54 (0.39)	26	0.95 (0.52)	51	1.20 (0.45)	28	-0.12 (0.00)	2	-0.12 (0.00)	1		0	0
	0,7	0.58 (0.44)	26	0.85 (0.48)	51	1.06 (0.44)	28	-0.17 (0.01)	2	-0.16 (0.00)	1		0	0

Tabell 29. Effekter på respektive z_j^r av fusk.

Region	Övriga regioner fuskar	Tendens i andelen förlustfall Resp β_j: 1 0,9 0,7	Tendens i procentuella ökningen av resp z_j^r vid vinst. Resp β_j: 1 0,9 0,7	Tendens i procentuella minskningen av resp z_j^r vid förlust Resp β_j: 1 0,9 0,7
1	Föga Måttligt Betydande			
2	Föga Måttligt Betydande			
3	Föga Måttligt Betydande			
4	Föga Måttligt Betydande			

Tabell 30. Tendenser avseende tabell 29 gällande effekter på respektive z_j^r av fusk.

Region	β_j	Andra fuskar					
		Föga		Måttligt		Betydande	
		snitt α	högsta α	snitt α	högsta α	snitt α	högsta α
1	1	0,63 (0,21)	0,92	0,66 (0,18)	0,92	0,67 (0,12)	0,90
	0,9	0,68 (0,13)	0,85	0,66 (0,11)	0,84	0,61 (0,09)	0,80
	0,7	0,58 (0,16)	0,74	0,57 (0,12)	0,75	0,52 (0,08)	0,69
2	1	0,21 (0,13)	0,48	0,20 (0,09)	0,50	0,14 (0,04)	0,23
	0,9	0,20 (0,15)	0,66	0,18 (0,08)	0,44	0,13 (0,04)	0,21
	0,7	0,18 (0,18)	0,84	0,15 (0,07)	0,37	0,11 (0,03)	0,18
3	1	0,52 (0,30)	0,91	0,66 (0,20)	0,90	0,74 (0,14)	0,89
	0,9	0,76 (0,14)	0,89	0,77 (0,10)	0,91	0,73 (0,08)	0,90
	0,7	0,78 (0,13)	0,90	0,72 (0,10)	0,89	0,67 (0,08)	0,82
4	1	0,51 (0,25)	0,85	0,67 (0,17)	0,89	0,73 (0,12)	0,87
	0,9	0,69 (0,16)	0,87	0,71 (0,13)	0,87	0,71 (0,08)	0,85
	0,7	0,54 (0,22)	0,80	0,58 (0,17)	0,79	0,59 (0,10)	0,74

Tabell 31. Effekter på α av fusk.

Region β_j		Genomsnittligt α-värde när övriga regioner fuskar			Högsta α-värde när övriga regioner fuskar		
		Föga	Måttligt	Betydande	Föga	Måttligt	Betydande
1	1						
	0,9						
	0,7						
2	1						
	0,9						
	0,7						
3	1						
	0,9						
	0,7						
4	1						
	0,9						
	0,7						

Tabell 32. Tendenser avseende tabell 31 gällande effekter på α av fusk.

REFERENSER

Accounting for Intracompany Transfers, N.A.C.A., Research Series, No. 30, New York, 1956

Ackoff, R.L. Scientific Method, New York, 1962

Ackoff, R.L. & Sasieni, M.W. Operationsanalys, Stockholm, 1968

Alcaly, R.E. & Klevorick, A.K. "A Note of the Dual Prices of Integer Programs", Econometrica, 34(1), 1966

Almon, C. "Central Planning without Complete Information at the Center" in Dantzig, G.B. Linear Programming and Extensions, Princeton, 1963

Aoki, M. "An Investment Planning Process for an Economy with Increasing Returns", The Review of Economic Studies, 38(3), 1971

Appelgren, L., Sundström, D. & Zachrisson, L.E. Optimeringsmetoder, Lund,1970

Arrow, K.J. Control in Large Organizations. Technical Report No.123, Institute of Mathematical Studies in the Social Sciences, Stanford University, Stanford, 1963

Arrow, K.J. & Hurwicz, L. "Decentralization and Computation in Resource Allocation" in Pfouts, R.W. (Ed) Essays in Economics and Econometrics, North Carolina, 1960

Arvidsson, G. Internpriser, Stockholm, 1971

Avondo-Bodino, G. Economic Application of the Theory of Graphs, London, 1962

Balas, E. "An Infeasibility-Pricing Decomposition Method for Linear Programs", Operations Research, 14(5), 1966.

Baty, J.P. & Williams, G."Graph-Theoretic Decomposition of Large Structural Network Systems" in Himmelblau, N.M. (Ed) Decomposition of Large-Scale Problems, Amsterdam, 1973

Baumol, W.J. Economic Theory and Operations Analysis, Englewood Cliffs, N.J., 1965

Baumol, W.J. & Bushnell, R.C. "Error Produced by Linearization in Mathematical Programming", Econometrica, 35,Jul-Oct 1967

Baumol, W.J. & Fabian, T. "Decomposition, Pricing for Decentralization and External Economics". Management Science, 11(1), 1964

Beale, E.M.L. Mathematical Programming in Practise, New York, 1968

Beale, E.M.L., Hughes, P.A.B. & Small, R.E. "Experience in Using a Decomposition Program" The Computer Journal, 8, 1965

Beer, S. Decision and Control, London, 1966

Bell, E. Primal-Dual Decomposition Programming, Report ORC 65-23, Operations Research Center, University of California, Berkeley, 1965.

Berg, C. Case Studies in Organizational Research and Education. (Stencil), Stockholm, 1967

Berge, C. The Theory of Graphs and its Applications, London, 1962

Bessière, F."The Concept of Separability and the Optimization of Economic Organization".European Economic Review, Fall 1969

Blalock, H.M. Jr. & Blalock, A.B. (Eds.) Methodology in Social Research, New York, 1968

Broise, P., Huard, P. & Sentenac, J. Decomposition des Programmes Mathématiques, Paris, 1968

Burton, R.M. & Damon, W.W. Production and Investment Planning: Simultaneity and Decomposition, Graduate School of Business Administration, Paper No.68, (Revised July, 1973), Duke University, Durham, North Carolina 27706

Carleton, W.T., Kendall, G. & Tandon, S."Application of the Decomposition Principle to the Capital Problem in a Decentralized Firm". Journal of Finance,19(3), 1974

Charnes, A., Clower, R.W. & Kortanek, K.O. "Effective Control Through Coherent Decentralization with Preemptive Goals", Econometrica, 35(2), 1967

Charnes, A. & Cooper, W.W. "Nonlinear Power of Adjacent Extreme Point Methods in Linear Programming", Econometrica, 14, Jan, 1957

Charnes, A., Cooper, W.W. & Henderson, A. An Introduction to Linear Programming, New York, 1953

Charnes, A. & Kortanek, K.O. "On the Status of Separability and Non-Separability in Decentralization Theory", Management Science, 15, Oct 1968

Charnes, A. & Lemke, C. "Minimization of Non-Linear Separable Convex Functionals". Naval Research Logistics Quarterly, 1(4), 1954

Chiang, A.C. Fundamental Methods of Mathematical Economics, New York, 1967

Damon, W.W. & Schramm, R. "A Simultaneous Decision Model for Production, Marketing and Finance", Management Science, 19(2), Oct 1972

Dantzig, G.B. Linear Programming and Extensions, Princeton, 1963

Dantzig, G.B. & van Slyke, R.M. "Generalized Linear Programming" in Wismer, D.A. (Ed) Optimizations Methods for Large-Scale Systems, New York, 1971

Dantzig, G.B. & Wolfe, P. A Decomposition Principle for Linear Programs, Rand Paper P-1544, Nov 1958

Dantzig, G.B. & Wolfe, P. "Decomposition Principles for Linear Programs" Operations Research, 8(1), 1960

Dantzig, G.B. & Wolfe, P "The Decomposition Algorithm for Linear Programs", Econometrica, 29(4), 1961

Flament, C. Applications of Graph Theory to Group Structure, Englewood Cliffs, N.J., 1963

Forrester, J.W. Industrial Dynamics, New York, 1961

Fox, K.A., McCamley, F.P. & Plessner, Y. Formulation of Management Science Models for Selected Problems of College Administration, Iowa State University, Ames, Iowa,1967

Freeland, J.R. & Baker, N.R. Mathematical Models of Resource Allocation Decision Making in Hierarchical Organizations. Presented as an invited paper at the Joint Meeting of the Operations Research Society of America, The Institute of Management Science and Systems Engineering Group at AYIE, November 8-10, 1972, Atlantic City, New Jersey.

Geoffrion, A. "Elements of Large-Scale Mathematical Programming" Management Science, 16(11), 1970

Glassey, C.R. "Nested Decomposition and Multi-Stage Linear Programs" Management Science, 20(3), 1973

Gomory, R.E. & Baumol, W.J. "Integer Programming and Pricing", Econometrica, 28(3), 1960

Guttman, L."The Problem of Attitude and Opinion Measurement" in Stouffer, S.A. et.al. Measurement and Prediction, Princeton, N.J., 1950

Hadley, G. Linear Programming, Reading, Mass. 1962

Hadley, G. Nonlinear and Dynamic Programming, California, 1964

Hammer, P.L. & Rudeanu, S. Boolean Methods in Operations Research and Related Areas, Berlin, 1968

Hannsmann, F. & Hess, S. "A Linear-Programming Approach to Production and Employment Scheduling" Management Technology, 1, Jan 1960

Harary, F. & Norman, R.Z. Grahp Theory as a Mathematical Model in Social Science, Michigan, 1953

Hartman, J.K. "On Rearranging Matrices to Block Angular Form" (Communications to the Editor), Management Science, 19(3), 1972

Harvey, R.P. "Decomposition Principle of Linear Programming" International Journal of Computer Mathematics, May 1964

Hass, J.E. "Transfer Pricing in a Decentralized Firm", Management Science, 14(6), 1968

Hass, J.E. Decentralized Decision-Making: Non-Linear Decomposition Procedures and their Uses (Diss.) Carnegie-Mellon University, 1969

Heal, G.M. "Planning, Prices and Increasing Returns" The Review of Economic Studies, 38(3), 1971

Hertzberg, F., Mausner, B. & Snyderman, B. Motivation of Work, New York, 1959

Holt, C.C. et.al. Planning Production, Inventories and Work Force, Englewood Cliffs, 1960

Holvid, A. En Metod för Integrerad Virkestransportplanering, Institutionen för Optimeringslära och Systemteori, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm, 1969

Hurwicz, L. "Conditions for Economic Efficiency of Centralized and Decentralized Structures" in Grossman, G. (Ed) Value and Plan, Los Angeles, 1960 A

Hurwicz, L. "Optimality and Informational Efficiency in Resource Allocation Processes", In Arrow, K.J., Karlin, S. & Suppes, P. (Eds.) Mathematical Methods in the Social Science, 1959, Proceedings of the First Stanford Symposium, Stanford, 1960 B

Hurwicz, L. "On the Concept and Possibility of Informational Decentralization", American Economic Review, May 1959

Hurwicz, L."Centralization and Decentralization in Economic Processes."In Eckstein, A. (Ed) Comparison of Economic Systems: Theoretical and Methodological Approaches, Berkeley, 1971

Hurwicz, L. "On Informationally Decentralized Systems" in McGuire, C.B. & Radner, R. (Eds.) Decision and Organization, Amsterdam, 1972

Hyltén-Cavallius, C. & Sandgren, L. Matematisk Analys I,Lund, 1958

Hyltén-Cavallius, C. & Sandgren, L. Matematisk Analys II, Lund,1965

Interdivisional Transfer Pricing, N.I.C.B., Business Policy Study No. 122, New York, 1967

Israel, J. "Case Studies" i Karlsson, G. (Red.) Sociologiska Metoder, Stockholm, 1965

Jennergren, P. Studies in the Mathematical Theory of Decentralized Resource-Allocation (Diss.), Stanford University, 1971

Jennergren, P. "Decentralization on the Basis of Price Schedules in Linear Decomposable Resource-Allocation Problems" Journal of Financial and Quantitative Analysis, Jan 1972

Jennergren, P. & Müller, W. "Simulation Experiments of Resource-Allocation Decisions in Two-Level Organizations", Social Science Research, 2(4), 1973

Karlsson, G.(Red.) Sociologiska Metoder, Stockholm, 1965

Kim, C. Introduction to Linear Programming, New York, 1971

Koopmans, T.C. "Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities" in Koopmans, T.C. (Ed) Activity of Production and Allocation, New York, 1951

Koopmans, T.C. Three Essays on the State of Economic Science, New York, 1957

Koopmans, T.C. & Beckmann, M. "Assignment Problems and the Location of Economic Activities" Econometrica, 25(1), 1957

Kornai, J. Mathematical Planning of Structural Decisions, Amsterdam, 1967

Kornai, J. "Multi-Level Programming - a First Report on the Model and on the Experimental Computations" European Economic Review, 1(1), 1969 A

Kornai, J. "Man-Machine Planning", Economics of Planning, 9(3), 1969 B.

Kornai, J. "Thoughts on Multi-Level Planning Systems" in Goreux, L.M. & Manne, A.S. (Eds.) Multi-Level Planning: Case Studies in Mexico, Amsterdam, 1973

Kornai, J. & Liptâk,T. "Two Level Planning" Econometrica, 33(1), 1965

Kriebel, C.H. & Lave, L.B. "Conflict Resolution within Economic Organizations", Behavioral Science, 14(3), May 1969

Kutcher, G.P. "On Decomposing Price-Endogenous Models" in Goreux, L.M. & Manne, A.S. (Eds.) Multi-Level Planning: Case Studies in Mexico, Amsterdam, 1973

Laine, V. Linjär Programmering vid Företagsstyrning. EFI, Stockholm, 1970

Larsson, L., Sundquist, L. & Arvidsson, G. Internprissättning - Metoder vid Avräkning av Internprestationer i 253 Större Svenska Företag. EFI (stencil), Stockholm, 1971

Lasdon, L.S. Optimization Theory for Large Systems, New York, 1970

Likert, R. New Patterns of Management, New York, 1961

Ljung, B. & Selmer, J. Företagsstyrning, Seminarieuppsats i Företagsekonomi, Stockholms Universitet, Stockholm, 1970

Ljung, B. & Selmer, J. Administrativ Prisstyrning, Forskningsrapport Nr 78, Företagsekonomiska Institutionen, Stockholms Universitet, Stockholm, 1972

Ljung, B. & Selmer, J. Decentraliserad Prisallokering, Forskningsrapport Nr 87, Företagsekonomiska Institutionen, Stockholms Universitet, Stockholm, 1973

Luce, R.D. & Raiffa, H. Games and Decisions, New York, 1957

Lundqvist, E. & Sjöberg, A. Numeriska Metoder, Lund, 1970

Madsen, O.B.G. "The Connection between Decompositon Algorithms and Optimal Degree of Decomposition", in Himmelblau,D.M. (Ed), Decomposition of Large Scale Problems, Amsterdam, 1973

Magnusson, D. Testteori, Stockholm, 1966

Malinvaud, E. "Decentralized Procedures for Planning" in Bacharach, M.O.L. & Malinvaud, E. (Eds.) Acitivity Analysis in the Theory of Growth and Planning, New York, 1967

Marglin, S.A. Approaches to Dynamic Investment Planning, Amsterdam, 1963

Marglin, S.A. "Information in Price and Command Systems of Planning", in Margolis, J. & Guitton, H. (Eds.) Public Economics, New York, 1969

Marschak, T.A. "Computation in Organizations: The Comparison of Price Mechanisms and other Adjustment Processes." in McGuire, C.B. & Radner, R. (Eds.) Decision and Organization, Amsterdam, 1972

Markowitz, H.M. & Manne, A.S. On the Solution of Discrete Programming Problems", Econometrica, 25, Jan 1957

McGuire, C.B. Some Extensions of the Dantzig-Wolfe Decomposition Scheme, Working Paper No.66, Center for Research in Management Science, University of California, March 1963

Miller, C.E. "The Simplex Method for Local Separable Programming" in Graves, R.L. & Wolfe, P. (Eds.) Recent Advances in Mathematical Programming, New York, 1963

Moag, J.S. & Lerner, E.M. "Capital Budgeting Decisions under Imperfect Market Conditions - a Systems Framework", The Journal of Finance, 24(4), Sept 1969

Normann, R. A Personal Quest for Methodology, Stockholm, 1970

Nygreen, B. Stykkevis Linearisering av Dekomponerbare Programmeringsproblem (avh.) Institutt for Socialøkonomi, Norges Tekniske Høgskole, Meddelelse nr 25, 1973

Ohse, D. "Numerische Erfahrungen mit Zwei Dekompositionsverfahren der Linearen Planungsrechnung" Ablauf und Planungsforschung, 8(2), 1967

Ohse, D. Ein Dualer Dekompositionsalgorithmus zur Lösung Blockangularer Probleme der Linearen Planungsrechnung. (Diss) Darmstadt, 1971

Orchard-Hays, W. Advanced Linear-Programming Computing Techniques, New York, 1968

Ore, O. Graphs and their Uses, New York, 1963

Ramström, D. Systemplanering, Stockholm, 1970

Rasmussen, N.A. Dekomposition i Storsystemer, en undersögelse og Sammenligning af Primal og Dual Dekomposition. Eksamensprojekt udfört ved Instituttet for Matematisk Statistik og Operationsanalyse, Lyngby, 1971

Rosengren, K.E. Sociologisk Metodik, Stockholm, 1972

Ross, M. "Two-Stage Planning in the Irish Context" in Scott,A.J. (Ed) Studies in Regional Science, London, 1969

Ruefli, T.W. Planning in Decentralized Organizations, (Diss), Carnegie-Mellon University, 1969

Ruefli, T.W. "A Generalized Goal Decomposition Model", Management Science, 17(8), 1971 A

Ruefli, T.W. "Behavioral Externalities in Decentralized Organizations" Management Science, 9(5), 1971 B

Salkin, G. & Kornbluth, J. Linear Programming in Financial Planning, London, 1973

Samuelson, P.A. "Market Mechanisms and Maximisations" (P-69, Rand Corporation, March 28, 1949) in Stiglitz, J. (Ed) The Collected Scientific Papers of P.A.Samuelson, Vol.I, Massachusetts, 1966

Schneider, E. Pricing and Equilibrium, London, 1962

Selltiz, C. et.al. Research Methods in Social Relations, New York, 1967

Simon, H.A. et.al. Centralization vs. Decentralization in Organizing the Controllers' Department, Carnegie Institute of Technology, 1954

Simmonard, M. Linear Programming, Englewood Cliffs, N.J., 1966

Spillers, W.R. "Applications of Graph Theory to Decomposition Problems of Structures", in Himmelblau, D.M.(Ed) Decomposition of Large-Scale Problems, Amsterdam, 1973

Starbuck, W.H. "Mathematics and Organization Theory" in Handbook of Organizations, March J.G. (Ed), Chicago, 1965

Stedry, A.C. "Budgeting and Employee Behavior: a Reply", Journal of Business, 37(2), 1964

Stone, W.E. "Intracompany Pricing", Accounting Review, 31(34), Oct 1959

Swedner, H. Sociologisk Metod, Lund, 1970

Wagner, H.M. Principles of Operations Research, London, 1972

Valdelin, J. Produktutveckling och Marknadsföring (Avh.), Stockholm, 1974

Weil, R.L. "The Decomposition of Economic Production Systems" Econometrica, 36(2), 1968

Weil, R.L. & Kettler, P.C. "Rearranging Matrices to Block-Angular Form for Decomposition (and other) Algorithms", Management Science, 18(1), 1971

Weingartner, H.M. Mathematical Programming and the Analysis of Capital Budgeting Problems, Englewood Cliffs, N.J., 1963

Weitzman, M. "Iterative Multilevel Planning with Production Targets", Econometrica, 38(1), 1970

Whinston, A. Control and Coordination of Complex Economic and Managerial Systems, Carnegie Institute of Technology, May 1962 (Diss)

Whinston, A. "Price Guides in Decentralized Organizations" in Cooper, W.W., Leavitt,H. & Shelly, M.W. (Eds.) New Perspectives in Organizations Research, New York, 1964

Whinston, A. "A Decomposition Algorithm for Quadratic Programming" Caihers Du C.E.R.O., 8(2), 1966 A

Whinston, A. "Theoretical and Computational Problems in Organizational Decision-making", in Lawrence, J.R. (Ed) Operations Research and the Social Sciences, London, 1966 B

Wolfe, P. "Convergence Theory in Nonlinear Programming" in Abadie, J. (Ed) Integer and Nonlinear Programming, Amsterdam, 1970

Wolfe, P. & Cutler, L. "Experiments in Linear Programming" in Graves, R.L. & Wolfe, P. (Eds.) Recent Advances in Mathematical Programming, New York, 1963

Wolfe, P. & Dantzig, G.B. "A Decomposition Principle for Linear Programs" in Wolfe, P. (Ed) The RAND Symposium on Mathematical Programming, Linear Programming and Recent Extensions, Proceedings of a Conference, March 16-20, 1959 California, 1960

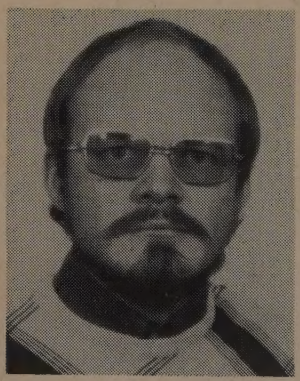
Vroom, V.H. Work and Motivation, New York, 1964

Yamane, T. Mathematics for Economists. Englewood Cliffs, N.J., 1968

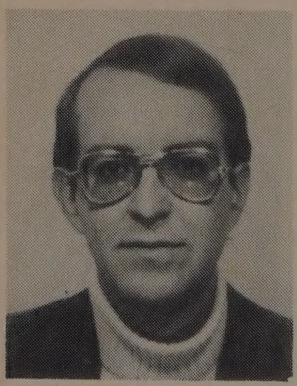
Zetterberg, H.L. On Theory and Verification in Sociology, New York, 1964

Samordnad planering i decentraliserade företag

En studie av Dantzig & Wolfe's dekompositionsalgoritm



Birger Ljung



Jan Selmer

Denna bok innehåller en studie av möjligheterna att genomföra en samordnad planering i decentraliserade företag med hjälp av en matematisk programmeringsteknik: Dantzig & Wolfe's dekompositionsalgoritm. Författarna omvandlar denna beräkningsteknik till en planeringsmetod vars förutsättningar och egenskaper ingående studeras. Bokens två första delar ger en teoretisk bakgrund och analys. I de två senare delarna får metoden en empirisk belysning genom tre fallstudier följda av en simuleringsstudie där planeringsmetodens egenskaper demonstreras och utförligt diskuteras. Boken vänder sig främst till personer som är sysselsatta med, studerar eller är intresserade av planering i företag eller tillämpad operationsanalys.

Författarna är lärare och forskare vid Företagsekonomiska Institutionen, Stockholms Universitet. De har tillsammans publicerat flera forskningsrapporter inom områdena företagsstyrning, internprissättning och matematisk programmering samt varit verksamma som konsulter i företag och offentliga organ.

Bonniers

Qba
ISBN 91-0-040237-0